

## ОСОБЕННОСТИ СКЛАДЧАТО-РАЗРЫВНОЙ СТРУКТУРЫ И БЛОЧНОСТИ МАССИВОВ ДОКЕМБРИЙСКИХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ КМА<sup>1</sup>

**В.А. Дунаев**  
**И.М. Игнатенко**

*Белгородский  
государственный  
национальный  
исследовательский  
университет*

*Россия, 308015 Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail: ignat86\_m@mail.ru*

По результатам натурального изучения на карьерах дана характеристика складчато-разрывной структуры месторождений железистых кварцитов КМА (Лебединского, Стойленского, Михайловского), трещиноватости и блочности (формы и величины отдельности) слагающих их пород. Доказана связь разрывных нарушений и трещин с особенностями складчатой структуры месторождений. Установлены факторы, влияющие на размер отдельности, и закономерности распределения отдельностей различного размера в породном массиве.

Ключевые слова: месторождение, железистые кварциты, Курская магнитная аномалия, складчато-разрывная структура, трещиноватость, отдельность горных пород.

Все месторождения железистых кварцитов КМА приурочены к коробковской свите курской серии нижнего протерозоя (карелия). Она состоит из четырех подсвит (снизу вверх): нижней железорудной, нижней сланцевой, верхней железорудной, верхней сланцевой. Мощность свиты достигает 1000 м, а железорудных подсвит – до 300 м. Коробковскую свиту подстилают сланцы и кварцитопесчаники стойленской свиты, лежащей в основании разреза курской серии. Экономическая эффективность и безопасность горных работ на карьерах во многом зависит от степени адекватности особенностям складчато-разрывной структуры разрабатываемого массива пород принятых технологических решений и параметров при производстве буровзрывных работ и постановке уступов на предельный контур. Это связано с тем, что складчато-разрывная структура породного массива обуславливает наличие в нем плоскостей ослабления (трещин) различной ориентировки и размерности.

Основные положения статьи базируются на результатах полевых геолого-структурных исследований, выполненных в карьерах Стойленского, Лебединского и Михайловского ГОКов. Измерение элементов залегания горных пород и трещин осуществлялось гироскопическим трещиномером ТГ-Зм, а расстояний между трещинами одной системы – мерной рейкой.

**Складчатая структура и разрывные нарушения.** Лебединское и Стойленское месторождения расположены в зоне юго-восточного замыкания Тим-Ястребовской грабен-синклинали, наиболее крупной в Орловско-Оскольском грабен-синклинории. В совокупности они образуют Лебединское рудное поле [1]. *Лебединское месторождение* приурочено к одноименной синклинали 2-го порядка шириной 4-6 км, ограниченной на западе Западно-Лебединским разломом, а на северо-востоке – Стойло-Николаевским габбро-диоритовым массивом раннепротерозойского возраста (рис. 1). Лебединская синклиналь представляет собой ансамбль сопряженных складок 3-го порядка, осложненных более мелкой складчатостью. Азимут генерального простирания складчатой системы в целом 310°, отдельных складок 305-340°. Преобладают прямые складки с крутым до субвертикального наклоном крыльев. Складчатая структура месторождения в плане веерообразно расширяется на юго-восток в сторону ее воздымания и замыкания. Шарниры складок погружаются в северо-западном направлении под углами от 10-30° до 50-60°.

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы, государственный контракт ПЗ6 от 30 марта 2010г.

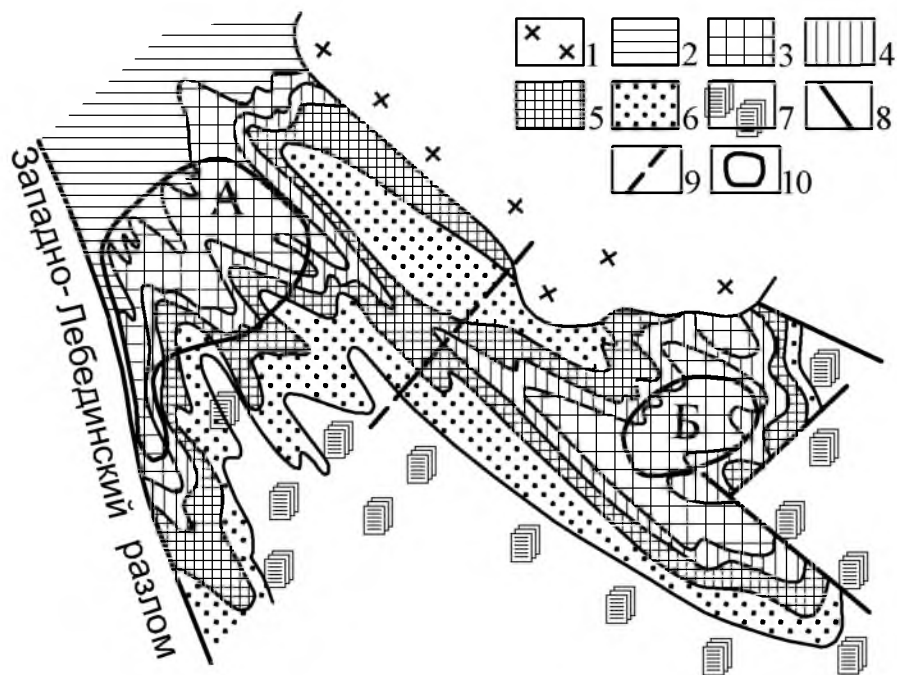


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Лебединского рудного поля. По [4] с генерализацией и дополнениями:

1 – Стойло-Николаевский массив пород среднего и основного состава; **нижний протерозой** – курская серия: 2-5 – коробковская свита: 2 – верхняя сланцевая подсвита, 3 – верхняя железорудная подсвита, 4 – нижняя сланцевая подсвита, 5 – нижняя железорудная подсвита; 6 – сланцево-метапесчаниковая стойленская свита; **архей**: 7 – михайловская серия – (метаандезиты, сланцы) и нерасчлененный комплекс гранитогнейсов, магматитов, гранитов; 8 – разрывные нарушения; 9 – условная граница между Лебединским и Стойленским месторождениями; 10 – контур карьеров: А – Лебединского, Б – Стойленского

Проявленные на месторождении разрывные нарушения представлены зонами дробления и интенсивной трещиноватости (рассланцевания) пород с глиной трения и четкими притертыми плоскостями. Среди них выделены нарушения 1-го порядка, протягивающиеся через все месторождение на 1.5-2 км при мощности до 5-7 м, и 2-го порядка протяженностью 0.2-0.6 км и мощностью 0.1-1 м. Те и другие местами сопровождаются зонами повышенной трещиноватости пород шириной соответственно 5-10, редко до 30 м, и 1-5, иногда до 10 м. Видимая вертикальная амплитуда смещения пород по плоскостям нарушений 1-го порядка 10-100 м, а 2-го порядка – от первых дециметров до 10 м. Региональный Западно-Лебединский разлом надпорядковый. Простираение нарушений 1-го северо-западное (азимут 295-335°), близкое к ориентировке осей складок, падение от крутого до субвертикального. Характерна смена направления падения по простираению нарушений. Расстояние между смежными нарушениями 0.2-0.45 км.

Разрывные нарушения 2-го порядка по своей ориентировке относительно осей складок и разрывных нарушений 1-го порядка подразделяются (в порядке уменьшения распространенности) на продольные, диагональные и поперечные. Продольные нарушения имеют северо-западное простираение (295-335°). На круговой ориентирной диаграмме они образуют две системы, падающие в противоположные стороны (азимут падения (аз. пад.). 221<80° и аз. пад. 22<72°). Диагональные нарушения также представлены двумя системами. Из них наиболее проявлена субширотная с крутым падением на юг (аз. пад. 170<78°). Простираение другой системы северо-восточное с падением на северо-запад (аз. пад. 337<58°). Поперечные нарушения образуют субширотную систему с крутым падением на юго-восток (аз. пад. 130<78°) (рис. 2). Расстояние между разрывными нарушениями одной системы колеблется от 30-60 м до 100-150 м.

Разрывные нарушения 2-го порядка по отношению к разрывам 1-го порядка обычно являются сопровождающими или опережающими. К ним приурочены дайки диоритовых порфиритов (производных Стойло-Николаевского габбро-диоритового массива), о чем свидетельствует сходство круговых ориентирных диаграмм разрывных нарушений и даек (см. рис. 2). Единственным принципиальным их отличием является отсутствие на диаграмме ориентировки даек северо-восточной системы с полюсом аз. пад.  $337 < 58^\circ$ . Очевидно, разрывы этой системы возникли позже формирования дайкового комплекса, связанного со становлением Стойло-Николаевского интрузивного массива.

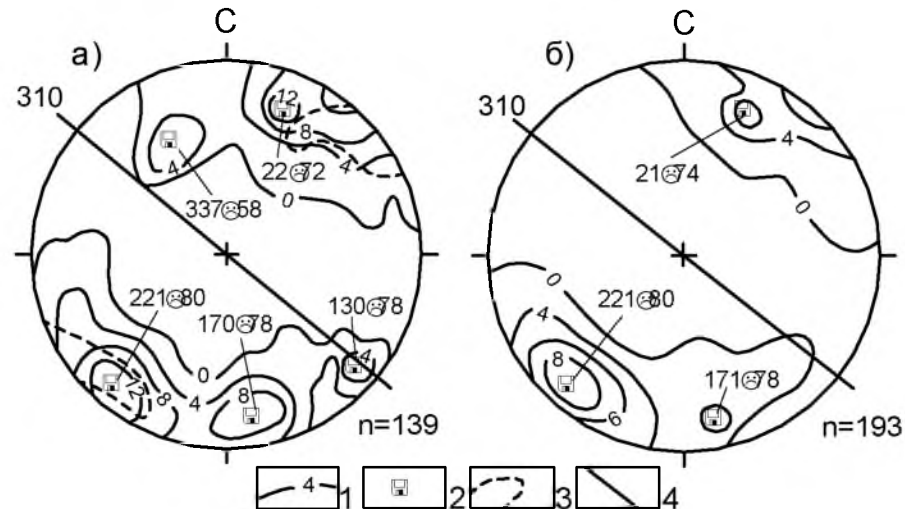


Рис. 2. Круговые диаграммы ориентировки разрывных нарушений второго порядка (а) и даек диоритовых порфиритов (б) на Лебединском месторождении:

1 – изолинии плотности точек и их значения, в %; 2 – полюс системы (цифрами указаны азимут и угол падения системы, град); 3 – контур ореола полюсов разрывных нарушений первого порядка; 4 – линия генерального простирания складчатости с указанием азимута, град.

Важно отметить, что разрывные нарушения 1-го порядка пунктирно трассируются участками развития в железистых кварцитах плейчатости и пакетов шириной 5-10 м мелких изоклинальных складок. Это свидетельствует о древнем соскладчатом заложении указанных нарушений как зон повышенной концентрации напряжений на сочленении складчатых структур в условиях пластического состояния горных пород. Позднее в связи с хрупкими деформациями пород они оформились как разрывные нарушения 1-го порядка, а синхронно с ними или спустя какое-то время возникли разрывы 2-го порядка. В дальнейшем разрывные нарушения обоих порядков неоднократно подновлялись, о чем свидетельствует приуроченность к ним даек диоритовых порфиритов и развитие по многим из них, в том числе залеченных дайками, зон дробления и интенсивной трещиноватости пород.

*Стойленское месторождение* приурочено к юго-восточному флангу складчатой системы «Стойло-Лебединская синклиналь – Крамская антиклиналь», где указанные структуры веерообразно расщепляются на ряд складок 3-го порядка, осложненных складчатостью более высоких порядков. Характерной структурной особенностью района месторождения является то, что шарниры складок в юго-восточном направлении сначала погружаются, а затем воздымаются с преобладающим центриклинальным замыканием. Простирание складок северо-западное по азимуту  $275^\circ$  и  $300^\circ$ . Углы погружения и воздымания шарниров складок  $20-60^\circ$ . В результате этого по подошве продуктивной коробковской свиты сформировалась брахиподобная Стойленская синклиналь 2-го порядка, вмещающая месторождение. Протяженность ее 6 км при размахе крыльев в центре 3.75 км. С севера она срезается Стойло-Николаевским интрузивным массивом (см. рис. 1).

На участке глубокого погружения шарнира Северо-восточной антиклинали длиной по простиранию 600 м и примерно такой же ширины в процессе геолого-



структурного картирования карьера установлено наличие поперечной складчатости. Преобладающий азимут простираения поперечных складок  $30^\circ$ . Только на западе этого участка он составляет  $340-350^\circ$ . Оси складок слабоволнистые, иногда дугообразные. Установленная длина складок 60-250 м, размах крыльев 20-50 м. Складки обычно симметричные, угол падения их крыльев  $65-85^\circ$ . Шарниры складок погружаются на юг и юго-запад под углом  $50-60^\circ$ . Складки сгруппированы по 2-5 в пакеты шириной 30-150 м, расстояние между пакетами 80-150 м. Простираение пород в промежутках между пакетами поперечных складок изменчиво (от субширотного до северо-восточного), а их падение обычно южное и юго-западное под углом  $60-80^\circ$ .

По данным полевых исследований установлено четыре разрывных нарушения 1-го порядка, протягивающиеся непрерывно через все карьерное поле. Они представлены зонами интенсивного дробления пород мощностью 0.4-2.0 м, с глиной трения и четкими притертыми плоскостями. Три из них следуют согласно простираению основной складчатости по азимуту  $295-310^\circ$ , имея крутое до субвертикального падения, преимущественно на юго-запад, а одно – близко к простираению поперечной складчатости, по азимуту  $10^\circ$  с падением на восток под углом  $60-75^\circ$ . Среди разрывных нарушений 2-го порядка, по протяженности и мощности сопоставимых с аналогичными нарушениями Лебединского месторождения, явно преобладают продольные относительно основной складчатости. Полнос этой системы разрывных нарушений на круговой ориентирной диаграмме позиционируется в точке, соответствующей аз.пад.  $210 < 80^\circ$  (рис. 3). Достаточно хорошо проявлены также разрывные нарушения, поперечные (аз. пад.  $117 < 72^\circ$ ) и диагональные (аз. пад.  $71 < 69^\circ$ ) простираению основной складчатости, но совпадающие с простираением поперечных складок. Они развиты преимущественно на участке проявления поперечной складчатости. Как и на Лебединском месторождении очевиден контроль даек диоритовых порфиритов разрывными нарушениями 2-го порядка. На это указывает тесная корреляция позиции полюсов систем на диаграммах а и б (см. рис. 3).

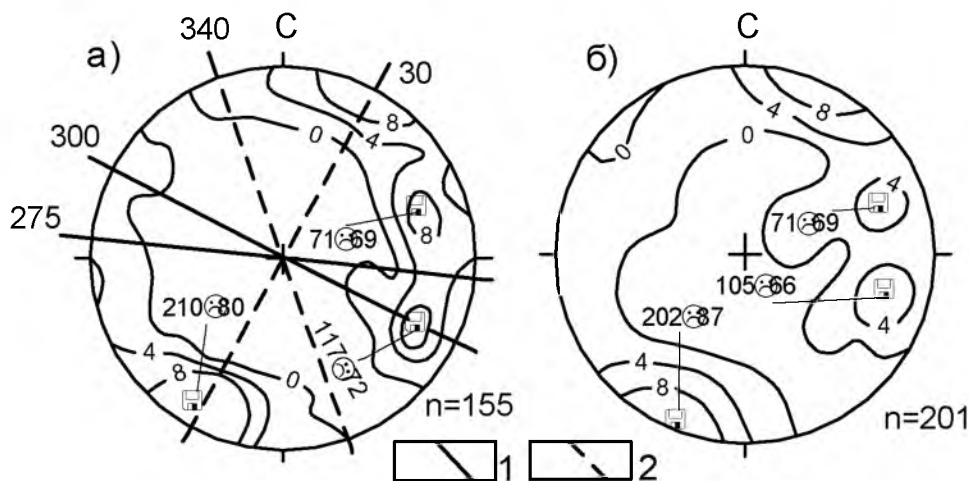


Рис. 3. Круговая диаграмма ориентировки разрывных нарушений (а) и даек диоритовых порфиритов (б) на Стойленском месторождении:

1-2 – линии простираения основных (1) и поперечных (2) складок с указанием азимута, град. Остальные условные обозначения см. на рис. 2

Михайловское месторождение приурочено к флексуобразной сложноскладчатой структуре 2-го порядка в западном крыле Михайловской грабен-синклинали, расположенной в Михайловско-Белгородском грабен-синклинории [1]. Эта структура расширяется и погружается к югу под углом  $20-55^\circ$ . Она представляет собой ансамбль трех складок 3-го порядка (двух синклиналей и разделяющей их антиклинали) шириной 0.6-2 км (рис.4). Основной является Западная синклиналь, протягивающаяся через все месторождение более, чем на 6 км. Две других складки обрезаны с востока крупным продольным разломом и сохранились только на юге месторождения. Шар-

ниры складок волнообразно изгибаются в плане, меняя азимут простираения от 340 до 10°, и ундулируют при общем погружении на юг. Основная Веретенинская рудная залежь, разрабатываемая карьером, полностью сложена железистыми кварцитами нижней железорудной подбиты коробковской свиты. Сланцевые прослои в толще кварцитов отсутствуют.

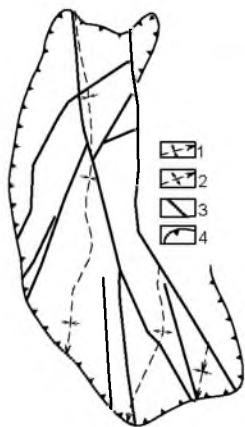


Рис. 4. Структурная схема карьерного поля Михайловского месторождения:

1, 2 – оси основных складчатых структур (стрелкой указано направление их погружения): 1 – синклинали, 2 – антиклинали; 3 – основные разрывные нарушения; 4 – контур действующего карьера по поверхности докембрия

Западная синклиналь в северной и центральной частях месторождения явно асимметричная. В западном ее крыле породы падают преимущественно на восток-юго-восток (азимут 80-120°) под углом 45-65°, а в восточном крыле преобладают северо-восточное (азимут 50-80°) и крутое (75-85°) до субвертикального падение пород, что позволяет говорить об опрокинутом в целом на запад залегании Западной синклинали. В южной части месторождения все три складки четко опрокинуты на запад с падением пород в обоих крыльях на восток под углом 70-85°. Вдоль восточной границы месторождения проходят два крупных субмеридиональных взброса на расстоянии 500-900 м один от другого. Падение их восточное под углом 60-85°. Кроме того, на месторождении развита сеть более мелких крутопадающих разрывных нарушений протяженностью от нескольких сотен метров до 1.5 км и мощностью 0.5-5 м, представленных зонами интенсивной трещиноватости и дробления пород. По пространственной ориентировке нарушения подразделяются на продольные (субмеридиональные), поперечные (субширотные) и диагональные (северо-западные и северо-восточные). Дайки магматических пород на месторождении отсутствуют.

**Трещины отдельности и мелкие сколовые трещины.** Ранее установлено, что для массивов метаморфитов курской серии КМА характерна делимость на элементарные структурные блоки (отдельности) отрывными трещинами трех субортгональных между собой систем ( $M$ ,  $N$ ,  $K$ ), возникших по завершению процесса складкообразования и знаменующих своим появлением переход пород из пластического состояния в консолидированное [2].  $M$  – система трещин по слоистости (полосчатости) пород,  $N$  – поперечная по отношению к  $M$ , а  $K$  – близкая по простираению к  $M$  и падает ей навстречу. Поскольку метаморфиты КМА характеризуются преимущественно крутым до субвертикальным залеганием, то с учетом указанных выше пространственных взаимоотношений упомянутых трех систем, трещины системы  $M$ ,  $N$  также крутопадающие до субвертикальных, а системы  $K$  – пологие до субгоризонтальных. Трещины системы  $M$  ровные или слабоволнистые согласно геометрии поверхностей раздела слоев пород, обычно протягиваются на всю высоту уступа (15-20 м). Трещины системы  $N$  более или менее прямолинейные, а системы  $K$  – извилистые, иногда прямолинейные. В целом трещины системы  $N$  более протяженные (5-15 м), чем системы  $K$  (2-10 м).

На некоторых участках месторождений по направлениям трещин отдельности, особенно системы  $M$ , наблюдаются ровные, притертые, иногда со следами скольжения, и достаточно протяженные плоскости, характерные для трещин сколового типа. Они возникли позже трещин отдельности за счет их разрастания, наследуя при этом созданные ими плоскости ослабления массива пород.

Кроме первичных трещин отдельности и описанных выше трещин, наследующих их ориентировку, имеют место типичные сколовые трещины: протяженностью 5-



15 м, ровные, с притертыми стенками. Они встречаются как одиночные, так и сериями по несколько субпараллельных трещин. Характерно преобладание среди них пологозалегающих трещин с углом падения  $30-40^\circ$ , что свидетельствует об их образовании под влиянием горизонтальных тектонических напряжений. При картировании карьеров и формировании базы данных указанные трещины фиксировались как принадлежащие системе С.

*Лебединское месторождение* в соответствии с присущей ему линейной складчатостью характеризуется следующими особенностями ориентации трещин  $M$ ,  $N$ ,  $K$ ,  $C$ . Простираие трещин системы  $M$  северо-западное (азимут  $310 \div 20^\circ$ ), в каждом крыле складок формируется своя подсистема по направлению падения ( $M_1$  – северо-восточного,  $M_2$  – юго-западного). Система пологозалегающих и субгоризонтальных трещин ( $K$ ) также образует две подсистемы ( $K_1$  и  $K_2$ ), падающие навстречу соответственно подсистемам  $M_1$  и  $M_2$ . Простираие системы  $N$  (азимут  $30 \div 10-20^\circ$ ) субортогонально простираие систем  $M$  и  $K$ . По направлению падения выделяются две подсистемы ( $N_1$  и  $N_2$ ), полюсы которых лежат на линии генерального простираия складчатости. Подсистема  $N_1$  падает на юго-восток, а  $N_2$  – на северо-запад (рис. 5 а).

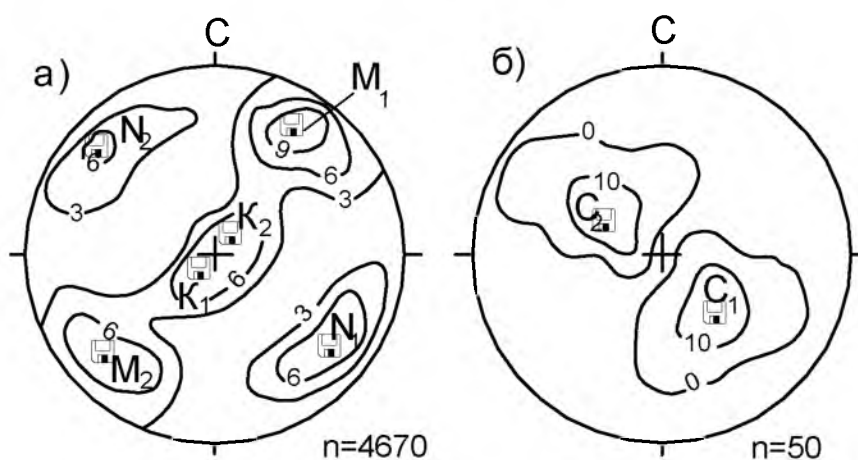


Рис. 5. Круговые диаграммы ориентировки трещин отдельности (а) и сколовых трещин (б) на Лебединском месторождении. Условные обозначения см. на рис. 2

Сколовые трещины по простираию совпадают с трещинами системы  $N$  и также ориентированы вкрест залегания пород (азимут  $30-40^\circ$ ), а по направлению падения образуют две подсистемы. Одна из них ( $C_1$ ) падает на юго-восток (азимут  $135 \pm 35^\circ < 35 \pm 15^\circ$ ), а другая ( $C_2$ ) – в противоположную сторону, на северо-запад (азимут  $305 \pm 20^\circ < 35 \pm 15^\circ$ ) (рис. 5, б). По величине двугранного угла между трещинами  $C_1$  и  $C_2$  ( $75^\circ$ ) их можно считать сопряженной сколовой парой. Биссектриса угла между плоскостями сопряженных трещин соответствует оси  $\sigma_3$  (максимальных напряжений), а ось  $\sigma_2$  (средних напряжений) является линия пересечения плоскостей трещин [3]. Отсюда следует, что сопряженная сколовая пара систем трещин  $C_1$  и  $C_2$  образовалась в поле напряжений с ориентировкой оси  $\sigma_3$  субгоризонтально и вдоль простираия складчатости, оси  $\sigma_2$  – вкрест этого направления, а оси  $\sigma_1$  – вертикальной.

*Стойленское месторождение* в связи отмеченными выше признаками брахиформности вмещающей его синклинали и наличием поперечной складчатости характеризуется своеобразием ориентировки систем трещин  $M$ ,  $N$ ,  $K$ ,  $C$ . Сводная диаграмма ориентировки трещин отдельности (рис. 6 а) относится к поясовому типу, что свидетельствует о широком развитии трещин различной ориентировки. Вместе с тем на этой диаграмме четко фиксируется область трещин  $K$  с полюсом в центре диаграммы и две системы крутопадающих (до субвертикальных) трещин северо-западного и ортогонального ему северо-восточного простираия с полюсами соответственно аз. пад.  $208, 28 < 90^\circ$  и аз. пад.  $293, 113 < 90^\circ$ .

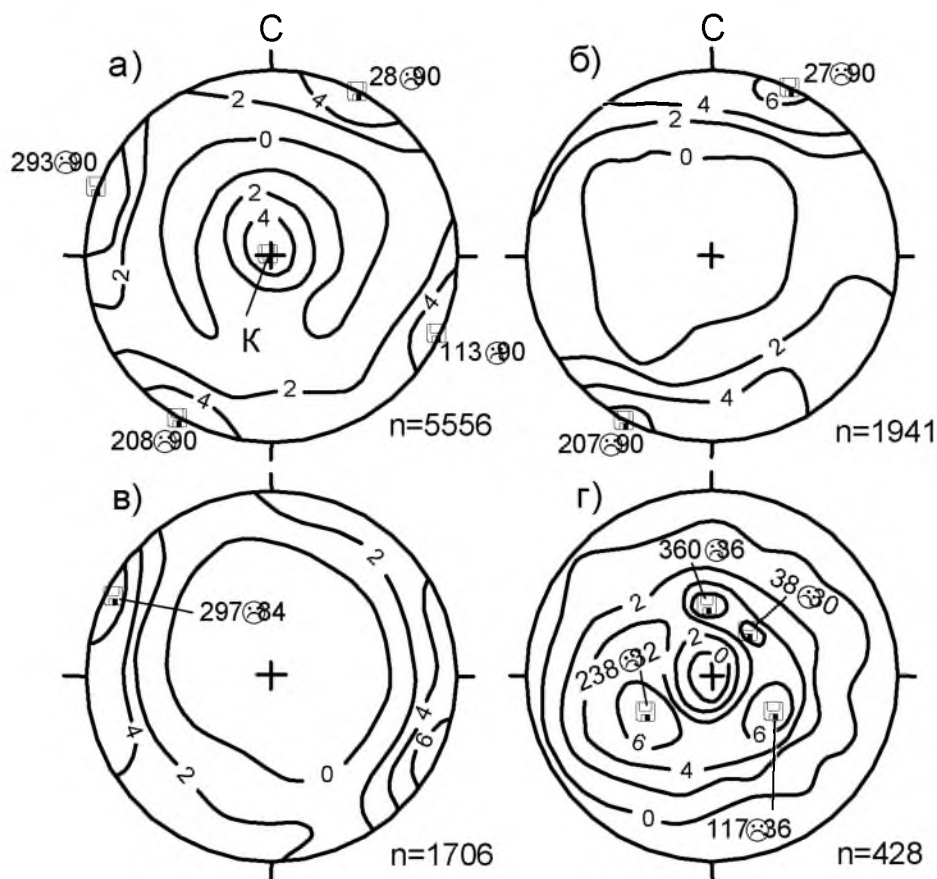


Рис. 6. Круговые диаграммы ориентировки трещин отдельности (а – всех систем: *M*, *N*, *K*; б – системы *M*; в – системы *N*) и сколовых трещин (г) на Стойленском месторождении. Условные обозначения см. на рис. 2

На диаграмме б, рис. 6 видно, что одна из указанных выше систем трещин (северо-западного простирания) с полюсом аз. пад.  $207, 27 < 90^\circ$  относится к системе *M*, связанной с основной складчатостью. Повышенная плотность полюсов в юго-восточном квадранте этой диаграммы (аз. пад.  $130 \pm 30^\circ$ ) обусловлена трещинами системы *M* на крыльях и в замках поперечных складок. В целом рассматриваемая диаграмма, аналогично сводной, относится к поясовому типу, что связано с изменчивостью ориентировки трещин *M*, обусловленной брахиформностью Стойленской синклинали и наличием поперечной складчатости. Диаграмма ориентировки трещин системы *N* (рис. 6 в) практически повторяет упомянутую выше диаграмму (рис. 6 б) с условием поворота ее на  $90^\circ$ , как и должно быть, учитывая ортогональность систем *M* и *N*.

На диаграмме г, рис.6 зона повышенной плотности трещин *C* образует почти замкнутое кольцо. Внутри него расположены полюсы четырех систем таких трещин ( $C_1$  – аз. пад.  $238 < 32^\circ$ ;  $C_2$  – аз. пад.  $38 < 30^\circ$ ;  $C_3$  – аз. пад.  $117 < 36^\circ$ ;  $C_4$  – аз. пад.  $360 < 36^\circ$ ), которые условно можно объединить в две сколовые сопряженные пары  $C_1$ - $C_2$ ,  $C_3$ - $C_4$ . Отмеченные особенности ориентировки трещин *C* свидетельствуют о многовекторной ориентировке субгоризонтальных сжимающих напряжений на Стойленском месторождении. Одно из наиболее сильно проявленных направлений таких напряжений, с каким связано возникновение сколовой пары  $C_1$ - $C_2$ , близко к простиранию поперечной складчатости.

Михайловское месторождение имеет свои отличительные черты ориентировки систем трещин *M*, *N*, *K*, обусловленные особенностями его складчатой структуры. На сводной круговой ориентирной диаграмме (рис. 7) четко проявлены системы трещин,



развитые в западном крыле Западной синклинали ( $M_1$  – азимут падения  $110^\circ < 50^\circ$ ,  $K_1$  – азимут падения  $310^\circ < 35^\circ$ ,  $N_1^1$  – азимут падения  $210^\circ < 70^\circ$ ). Подсистема  $N_1^2$  на диаграмме не проявилась, так как полюсы ее трещин попали в поле полюсов гораздо более многочисленных трещин системы  $M_2$  (по слоистости пород в крутых крыльях складок). Пиковые значения параметров ориентировки этой системы – азимут падения  $60^\circ < 80^\circ$ . Система  $M_2$  характерна для восточного крыла Западной синклинали и в целом для южной части Михайловского месторождения. Системе  $M_2$  соответствуют системы  $K_2$  (азимут падения  $240^\circ < 15^\circ$ ) и  $N_2$  в составе двух подсистем:  $N_2^1$  (азимут падения  $150^\circ < 65^\circ$ ) и  $N_2^2$  (азимут падения  $335^\circ < 60^\circ$ ).

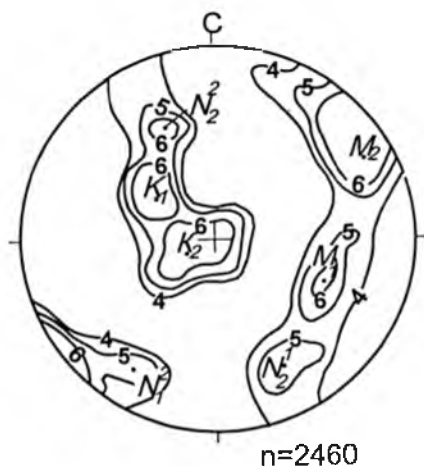


Рис. 7. Круговая диаграмма ориентировки трещин отдельности на Михайловском месторождении.  
Условные обозначения см. на рис. 2

**Блочность массивов пород.** Поскольку отдельность пород ограничена тремя системами взаимно ортогональных (с известной условностью) трещин, ее форма приближается к параллелепипеду. Модификация параллелепипеда с длинами ребер  $x > y > z$  определяется отношениями  $z/y$  (степенью уплотнения по  $z$ ) и  $y/x$  (степенью удлинения по  $x$ ). Выделено шесть разновидностей параллелепипедальной отдельности с различными критериальными значениями  $z/y$  и  $y/x$  (табл. 1).

Таблица 1

**Критериальные значения отношений  $z/y$  и  $y/x$  для различных модификаций параллелепипедальной отдельности**

Форма отдельности	Отношение длин ребер отдельности	
	$z/y$	$y/x$
Кубообразная	0.7-1.0	0.7-1.0
Столбчатая	0.7-1.0	<0.7
Плитчатая	0.3-0.7	0.7-1.0
Удлиненно-плитчатая	0.3-0.7	<0.7
Пластинчатая	<0.3	0.7-1.0
Удлиненно-пластинчатая	<0.3	<0.7

Если обозначить длину ребер по системам трещин  $M$ ,  $K$ ,  $N$  соответственно  $l$  м,  $l$  к,  $ln$ , то на указанных месторождениях всегда  $l$  м <  $l$  к,  $ln$  и часто, но не всегда,  $l$  к >  $ln$ , т.е. уплощение параллелепипедальной отдельности идет по ребру системы  $M$ , а ее удлинение по ребру системы  $K$ , реже системы  $N$ . Для изученных месторождений при некотором различии в распространенности отдельностей каждой из указанных в табл. 2 разновидностей характерен такой их ряд (в порядке уменьшения доли, %): кубообразная – плитчатая – столбчатая и удлиненно-плитчатая – пластинчатая и удлиненно-пластинчатая.



Таблица 2

**Распространенность (%) различной формы отдельностей железистых кварцитов**

Место-рождения	Форма отдельности					
	Кубооб-разная	Столб-чатая	Плитча-тая	Удлиненно-плитчатая	Пластин-чатая	Удлиненно-пластинчатая
Лебединское	34.4	12.9	28.9	17.6	4.9	1.3
Стойленское	31.7	16.8	32.1	12.3	1.6	5.5
Михайловское	42.3	14.3	33.1	5.7	4.0	0.6
Среднее	36.1	14.7	31.4	11.9	3.5	2.47

Средний размер отдельности ( $L_{ср.}$ , м) на конкретном месторождении зависит от типа породы, но на различных месторождениях один тип породы имеет различные значения этого параметра. Например, на Лебединском месторождении  $L_{ср.}$  увеличивается в такой последовательности: сланцы (0.48), кварцитопесчаники (0.52), железистые кварциты (0.60), а подобная последовательность для железистых кварцитов разных месторождений выглядит так: Михайловского – 0.44; Лебединского – 0.60; Стойленского – 0.73. В замках складок  $L_{ср.}$  в 1.2-2.3 раза больше, чем в их крыльях, а  $L_{ср.}$  железистых кварцитов плейчатой текстуры в 1.25-1.35 раза больше, чем линейно-полосчатой.

Распределение отдельностей различного размера в массивах железистых кварцитов подчиняется нормальному закону, но на каждом месторождении имеет свои особенности, которые характеризуются полигонами вариационных рядов и графиками плотности вероятности размера отдельности (рис. 8).

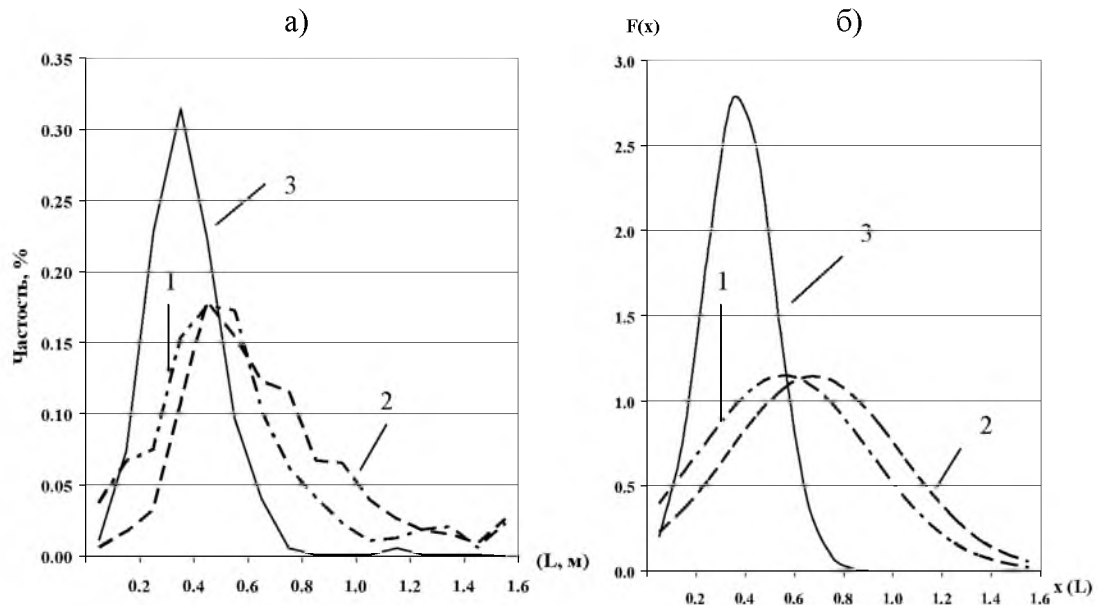


Рис. 8. Полигоны вариационного ряда (а) и графики плотности вероятности (б) размера отдельности ( $L$ ) в массивах железистых кварцитов Лебединского (1), Стойленского (2) и Михайловского (3) месторождений

Полигон и график Михайловского месторождения островершинные в соответствии с положительным эксцессом (0.77) и симметричны, а Лебединского и Стойленского месторождения – плосковершинные (эксцесс отрицательный – 0.8), причем у полигона и графика Лебединского месторождения заметно проявлена правая асимметрия (коэффициент асимметрии 0.6) за счет повышенных значений частоты классов в диапазоне 0.0-0.4м. Позиция экстремумов указанных графиков на оси  $x$  ( $L$ ) соответствует математическому ожиданию (среднему размеру отдельности в массиве по-



род, м), который составляет для Михайловского месторождения 0.43; Лебединского 0.62; Стойленского 0.73.

С увеличением глубины от кровли скальных пород ( $h$ , м) средняя величина отдельности ( $L_{ср}$ , м) изменяется волнообразно с четко выраженной тенденцией к увеличению. Эти изменения удовлетворительно аппроксимируются функцией в виде уравнения прямой (рис. 9).

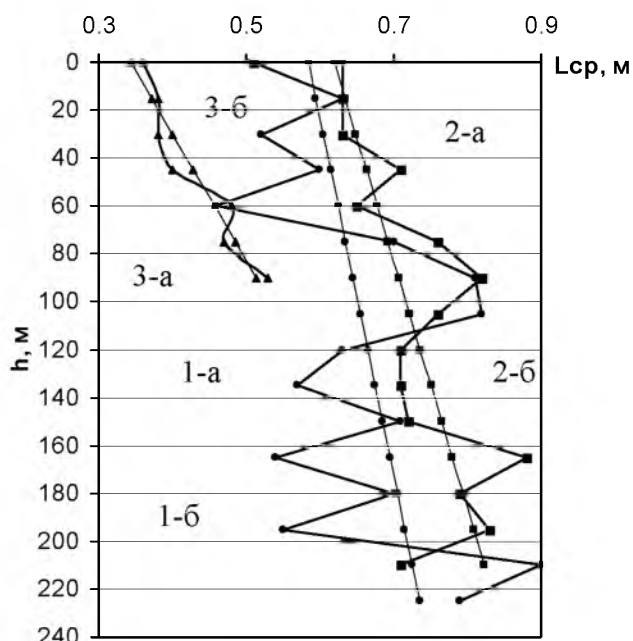


Рис. 9. Аппроксимация изменения среднего размера отдельности пород с глубиной (а – фактические значения, б – аппроксимирующая прямая) для Лебединского (1), Стойленского (2) и Михайловского (3) месторождений

Коэффициент корреляции между фактическими данными и соответствующими им значениями аппроксимирующей функции для Лебединского месторождения 0.39; Стойленского 0.7; Михайловского 0.94. Градиент увеличения среднего размера отдельности с глубиной по линии аппроксимирующей функции (в см на 10 м) для Лебединского месторождения 0.7; Стойленского 0.9; Михайловского 1.9. Эффект увеличения с глубиной среднего размера отдельности связан главным образом с разуплотнением верхней части массива скальных пород за счет снижения литостатического давления вследствие эрозии перекрывающей его когда-то толщи пород.

## Выводы

1. Синклинали 2-го порядка, вмещающие месторождения железистых кварцитов КМА, представлены ансамблем сопряженных складок 3-го порядка, осложненных более мелкой складчатости. Для Лебединской синклинали характерна линейная складчатость, а Стойленская синклиналь брахиподобна и отличается проявлением поперечной складчатости. При этом в обеих синклиналях доминируют прямые симметричные складки 3-го порядка. Михайловская синклиналь представлена линейными, опрокинутыми на запад складками 3-го порядка с явными признаками асимметрии. Для всех рудовмещающих синклиналей наблюдается ундуляция шарниров складок с погружением либо в одном направлении (Лебединской и Михайловской), либо в двух, к центру структуры (Стойленской).

2. Разрывные нарушения относительно простирания складчатости подразделяются на (в порядке уменьшения распространенности) продольные, диагональные, поперечные. Все они имеют крутое до субвертикального падение. Наиболее крупные продольные нарушения являются соскладчатыми. Позднее они многократно подновлялись, а синхронно с этим процессом возникали продольные, диагональные и поперечные нарушения различных порядков.

3. Отдельности метаморфических пород ограничены отрывными трещинами трех субортогональных между собой систем:  $M$  – по слоистости пород,  $N$  – поперечной к  $M$ ,  $K$  – близкой по простиранию к  $M$  и падающей ей навстречу. Трещины систем  $M$ ,  $N$  крутопадающие до субвертикальных,  $K$  – пологие до субгоризонтальных. Указанные пространственные взаимоотношения трещин системы  $M$  с залеганием пород и систем  $M$ ,  $N$ ,  $K$  между собой обуславливают закономерную связь ориентации трещин отдельности с особенностями складчатой структуры месторождений.

4. На изученных месторождениях развиты мелкие сколовые трещины пологого ( $30-40^\circ$ ) падения, возникшие позже трещин отдельности под влиянием субгоризонтальных тектонических напряжений. Геометрия решетки таких трещин также связана

с особенностями складчатой структуры месторождений. На Лебединском месторождении, характеризующемся линейной складчатостью, они образуют две системы (их полюсы лежат на линии простираения складчатости), а на Стойленском месторождении брахиподобной складчатой структуры проявлено несколько их систем, полюсы которых на круговой ориентирной диаграмме располагаются в кольцевой зоне повышенной плотности полюсов сколовых трещин.

5. Блочность массива пород, слагающих месторождения железистых кварцитов, характеризуется следующими особенностями:

а) преобладанием отдельностей кубообразной (36.4%), плитчатой (31.4%) и столбчатой (14.7%) формы;

б) зависимостью среднего размера отдельности ( $L_{ср.}$ ) от типа горной породы (при этом на различных месторождениях один тип пород имеет различную величину  $L_{ср.}$ ), их текстурного облика ( $L_{ср.}$  железистых кварцитов плейчатой текстуры в 1.25-1.35 раза больше, чем линейно-полосчатой), позиции относительно элементов складок (в замках складок  $L_{ср.}$  существенно выше, чем в крыльях);

в) нормальным распределением в массиве с присущими каждому месторождению особенностями;

г) волнообразным характером изменения  $L_{ср.}$  с глубиной при четко выраженной тенденции к увеличению с градиентом по аппроксимирующей прямой 0.7-1.9 см на 10 м.

### Список литературы

1. Железные руды КМА/гл. ред. В.П.Орлов. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 616 с.
2. Дунаев В.А., Серый С.С. Трещиноватость метаморфитов курской серии в бассейне КМА// Изв. вузов. Геология и разведка. – 2003, №2. – С. 54-59.
3. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. – М.: Наука, 1975. – 535 с.

## FEATURES OF FOLD-RUPTURE STRUCTURE AND JOINTING OF MASSIFS OF PRE-CAMBRIAN ROCKS OF DEPOSITS OF FERRUGINOUS QUARTZITES OF THE KMA

**V.A. Dunaev**  
**I.M. Ignatenko**

*Belgorod State National Research University*

*Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia*

*2 OOO «Metal-group» Jakovlevsky mine Yuzhnaja St. 12, Jakovlevo, 309076, Russia*

*E-mail: ignat86\_m@mail.ru*

By results of natural studying on open pit the characteristic of fold-rupture structure of deposits of ferruginous quartzites KMA (Lebedinsky, Stojlensky, Mihajlovsky), fissures and jointing (forms and jointing sizes) of rocks composing them is given. Connection of dislocation with a break in continuity and cracks with features of folded structure of deposits is proved. The factors influencing the size of jointing, and the regularities of distribution of jointings of the various size in rock massif are established.

Key words: a deposit, ferruginous quartzites, Kursk Magnetic Anomaly, fold-rupture structure, fissures, jointing of rocks.