

зоны в Тихом океане / А.Ф. Коробейников, Н.Н. Перцев // Докл. РАН. – 1998. – Т. 359. – № 5. – С. 663–667.

12. Додин, Д.А. Платинометальные месторождения мира. Т. 1. Кн. 1 : Малосульфидные платинометальные месторождения в ритмично-расслоенных комплексах / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, Д.В. Полферов и др. – М. : Геоинформмарк, 1994. – 279 с.

13. Додин, Д.А. Платинометальные месторождения России / Д.А. Додин, Н.М. Чернышов, Б.А. Яцкевич. – СПб., 2000. – 755 с.

14. Олейников, Б.В. Самородное металообразование в платформенных базитах / Б.В. Олейников, А.В. Округин, М.Д. Томшин и др. – Якутск, 1985. – 188 с.

15. Некрасов, И.Я. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов / И.Я. Некрасов, А.М. Ленников, Р.А. Октябрьский и др. – М. : Наука, 1994. – 381 с.

16. Некрасов, И.Я. Редкие природные многокомпонентные сплавы на основе золота и меди из платиновой россыпи Кондерского щелочноультраосновного массива (юго-восток

Алданского щита, Россия). Геология рудных месторождений / И.Я. Некрасов, В.В. Иванов, А.М. Летников и др. – 2001. – Т. 43. – № 5. – С. 452–464.

17. Дистлер, В.В. Гидротермальное платиновое оруденение месторождения Ватерберг (Трансвааль, ЮАР) / В.В. Дистлер, М.А. Юдовская, В.А. Прокофьев и др. // Геология рудных месторождений. – 2000. – Т. 42. – № 4. – С. 363–376.

18. Бетехтин, А.Г. Платина и другие минералы платиновой группы / А.Г. Бетехтин. – М. : Изд-во АН СССР, 1935. – 148 с.

19. Дистлер, В.В. Условия формирования оруденения платиновых металлов в хромитовых рудах Кемперсайского рудного поля / В.В. Дистлер, В.В. Крячко, М.А. Юдовская // Геология рудных месторождений. – 2003. – Т. 45. – № 1. – С. 44–74.

20. Bai, W. The PGE and base-metal alloys in the podiform chromitites of the Loubusa ophiolite, Southern Tibet / W. Bai, P.T. Robinson, Q. Fang // Canada Mineralogist. – 2000. – V. 38. – P. 585–598.

21. Высоцкий, Н.К. Платина и районы ее добычи. Ч. 2 и 3, Птр. гос. изд., 1923. – 343 с.

УДК 553.311.2:553.061.12 (470.32)

СУЛЬФИДНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ И ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КАРТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТОВ ЛЕБЕДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ КМА

В.В. Ильяш, В.И. Григорьев, С.П. Молотков, А.М. Локтев

Воронежский государственный университет
ОАО «Лебединский ГОК» г. Губкин

Возросшие требования к качеству продукции ОАО «Лебединский ГОК» в основном по уровню содержания в concentrate серы вызывают необходимость изменений в подходах к практике эксплуатационного картирования в сторону большей детальности. Небольшие по мощности, но широко распространенные на месторождении проявления наложенной минерализации требуют применения метода структурно-минералогического картирования. Рассмотрена проблема щелочных минералов, установлены упорядоченные изменения соотношения минералообразующих химических элементов, согласующихся таким же характером изменений их в целом для всего разреза железисто-кремнисто-сланцевой формации.

В настоящей статье вниманию читателя предлагается авторский вариант видения и решения проблем современного эксплуатационного картирования месторождений железистых кварцитов в условиях более жестких требований со стороны металлургических предприятий к качеству сырья. В основу положен материал, полученный в результате детального целевого картирования ряда ключевых участков на Лебединском месторождении в 2004–2005 гг. Основными задачами этих работ было выявление и выяснение природы локальных геохимических аномалий серы, геохимических барьеров, минеральных форм, факторов, влияющих на ее перераспределение в различные периоды геологической истории месторождения.

Химические анализы железистых кварцитов (210 проб) с определением серы, общего и магнетитового железа выполнены в лаборатории ОАО «Лебединский ГОК», минераграфические исследования проведены в ВГУ Т.П. Коробкиной, рентгеноспектральное зондиро-

вание сульфидных (30) и силикатных минералов (21) проводилось Н.Н. Кононковой в институте геохимии и аналитической химии РАН РФ на установке Самеса-100, при чувствительности определений элементов 0,02 % и точности 2 %. Анализ элементов-примесей выполнен А.В. Николаевым методом ISP-MS в аналитической лаборатории масс-спектрометрического анализа ООО «Инструментс» (г. Санкт-Петербург).

Лебединское железорудное месторождение является основным объектом деятельности ОАО «Лебединский ГОК». В настоящее время здесь отрабатываются железистые кварциты курской серии нижнего протерозоя с балансowymi запасами неокисленных разностей по категориям $V+C_1+C_2$ в 6599 млн т. По своим промышленно-экономическим показателям кварциты относятся к бедным рудам, требующим обогащения методом магнитной сепарации. По сравнению с другими типами железных руд они отличаются наименьшим количеством вредных примесей. Исключением

Изменения параметров кондиций железных руд Лебединского месторождения

Наименование параметров	Утвержденные ГКЗ СССР протоколами № 1016-к от 2.04.1976 г. и № 1940-к от 0.08.1984 г.	Утвержденные ГКЗ (прот. № 146-к от 17.07.04 на период с 01.01.2005 г. по 31.12.2009 г.)
1	2	3
Бортовое содержание в пробе, %: Fe _{магн}	12,0	12,0
Минимальное содержание по пересечению, %: Fe _{магн}	12,0	12,0
Минимальная мощность рудного тела, м	10,0	4,0
Максимальная мощность внутрирудных прослоев пустых пород и слабообруденных кварцитов, м	10,0	4,0
Максимальное содержание серы в куммингтонит-магнетитовых кварцитах, %	-	0,3
Комплекс факторов, не обеспечивающий получение концентрата с содержанием: железа – 70 %, серы – < 0,06 %, кремнезема – < 3 %	-	Перевести в забалансовые запасы биотит-магнетитовых кварцитов горизонта PR ₁ kr ₄ и сернистых (S > 0,3 %) куммингтонит-магнетитовых кварцитов при бортовом содержании и содержании в оконтуривающей выработке Fe _{магн} 12 % и минимальной мощности тел полезных ископаемых и максимальной мощности прослоев пустых пород 4 м

является лишь сера, содержание которой в кварцитах на отдельных участках может превышать порог допустимых значений. Однако распределение ее в разрезах формации в основном носит упорядоченный и предсказуемый характер, поэтому геологическая служба ОАО «Лебединский ГОК» особых проблем с серой при эксплуатационном картировании до недавнего времени не имела. Однако с некоторых пор ситуация заметно изменилась в связи с ужесточением требований к продукции ГОКа по содержанию серы (табл. 1).

1. Сера в разных геолого-технологических типах и сортах руд, новые требования к уровням содержания

Разное содержание серы в железистых кварцитах Лебединского месторождения связано с особенностями строения и происхождения железисто-кремнисто-сланцевой формации, чему в различные годы посвящено немало научных работ. Наибольшее признание получила хемогенно-осадочная модель, которая в законченном виде была представлена в работе Н.А. Плаксенко [1]. У нее были свои сторонники и противники, но, тем не менее, она долгие годы вполне соответствовала практике разведочных и добычных работ на месторождениях КМА, так как с ее позиций хорошо объяснялись основные особенности строения формации и распределение всех составляющих компо-

нентов. Ныне горняки вынуждены более строго контролировать содержание серы не только в продукте обогащения, но и в исходных рудах, где, как выяснилось, имеют место флуктуации более высокого порядка, чем это предполагает вышеупомянутая модель. Это нашло отражение и в протоколе № 146-к заседания ГКЗ от 17 сентября 2004 г., где отмечено, что с точки зрения решения задачи по снижению содержания серы в сырой руде, разведанность месторождения следует признать недостаточной, так как подобная цель при геологоразведочных работах 1951–1984 гг. не ставилась.

В настоящее время добыча и отгрузка железистых кварцитов на обогатительную фабрику производится в соответствии с техническими требованиями стандарта предприятия СТП 00186803-6.10-40-2003, в котором определены нормативы по массовой доле железа общего и магнетитового, крупности руды и вещественному составу, по массовой доле основных типов руд, их соотношению и количеству разубоживающих пород. В таблице 2 приведены соотношения типов руд при составлении суточной шихты, удовлетворяющей требуемому качеству концентрата (данные ОАО «Лебединский ГОК»).

Как видно из таблицы 2, исключение из шихты биотитовых и высокосернистых куммингтонитовых руд должно обеспечить необходимое качество железорудного концентрата. Однако практика показала, что серы в нем нередко оказывается больше, чем это следует из расчетов.

Показатели соотношения технологических типов руд в суточной шихте

Тип кварцита	Состав шихты, %	Вес, тыс.т	Содержание, %		
			в шихте		S в концентрате
			Fe _{общ}	Fe _{магн}	
1	2	3	4	5	6
Качество по типам с учетом серосодержащих руд					
Магнетитовый кварцит	70,4	191239,65	33,87	27,54	0,03
Куммингтонит-магнетитовый кварцит	18,48	50201,241	32,51	24,3	0,147
Железнослюдково-магнетитовый кварцит	6,3	17124,861	33,67	25,6	~ 0,03
Полуокисленный кварцит	0,53	1434,5943	32,93	21,1	~ 0,03
Биотит-магнетитовый кварцит	2,14	5820,1539	28,71	19,2	0,31
Куммингтонит-магнетитовый кварцит (S)	2,15	5828,2697	30,1	22,7	0,553
Итого:	100	271648,8	34,13	26,5	0,067
Всего железистые кварциты	96	26558,2			0,067
Разубоживающие породы, биотитовые и куммингтонитовые кварциты	4	11066			0,3
Итого:					0,076
Качество по типам без учета серосодержащих руд					
Магнетитовый кварцит	73,55	191239,65	33,87	27,54	0,03
Куммингтонит-магнетитовый кварцит	19,31	50201,241	32,51	24,3	0,14
Железнослюдково-магнетитовый кварцит	6,59	17124,861	33,67	25,6	0,03
Полуокисленный кварцит	0,55	1434,5943	32,93	21,1	0,03
Итого:	100	260000,3	34,38	26,77	0,051
Всего железистые кварциты	96,00	2544026			0,051
Биотитовые и куммингтонитовые кварциты с содержанием S < 0,3 %	4,0	10600,2			0,3
Итого:					0,06

2. Закономерный характер распределения сульфидной серы в породах Лебединского месторождения как отражение их генезиса

Геологическое картирование это всегда интерполяция и экстраполяция, приемы, которые основаны на использовании моделей, чаще всего генетических. Достоверность информации при этом во многом зависит от того, какой модели придерживается исследователь, насколько непротиворечива она наблюдаемым фактам. Терригенно-хемогенная модель железисто-кремнисто-сланцевой формации подтверждается огромным опытом, накопленным за десятилетия изучения многочисленных месторождений, связанных с ней. Она хорошо увязывается с литологическими [2,3,4], геохимическими [5] и минерагеническими данными [6]. В терригенных породах сохранились ассоциации весьма устойчивых обломочных аксессуарных минералов, характерных для россыпей дальнего сноса: циркон, рутил, турмалин, ильменит [7].

В породах формации с фоновым железнакоплением находит отражение своеобразный литогенез, более не повторяющийся в геологической истории. На месторождении отсутствуют признаки внутрiformационных размывов. Все породы характеризуются постепенными переходами, представляя собой единую серию минералого-петрографических разностей,

связанных между собой как элементы зеркально построенных трансгрессивно-регрессивных ритмов разноразмерного порядка. Максимальные концентрации серы отмечаются в сланцах и в зонах их контакта с кварцитами. На Лебединском месторождении вскрыты три мощные пачки сланцев, разделяющих пачки железистых кварцитов, все они выделены в ранге подсвет, но и внутри них встречаются небольшие по мощности горизонты сланцев и безрудных кварцитов.

На месторождении четко проявлена минералогическая зональность и упорядоченное распределение химических элементов. Общее содержание железа в осадке оставалось выдержанным практически на всем протяжении фациального профиля, за исключением незначительного по ширине отрезка инверсии, где меняется геохимический режим седиментации с восстановительного на окислительный. На переходном отрезке профиля осаждались кремнистые осадки (ныне безрудные и малорудные кварциты), где железо связано примерно равно в силикатах, в сульфидах и магнетите. Сульфидная часть профиля узкая по сравнению с кислородной. Наиболее интенсивно сульфидная минерализация проявлена в приконтактных зонах сланцев и кварцитов. В рудных кварцитах сульфидизация в большей мере носит характер рассеянной или послойно – вкрапленной минерализации, за исключением спорадически распространенных локальных ано-

**Среднее содержание серы в разных типах руд Лебединского месторождения
(по данным «Белмеханобрчермет», 2003 г.)**

Типы руд	Доля в %	Сера общая	Сера пиритовая	Сера пирротиновая
Железнослюдково-магнетитовые	23,53	0,017	0,013	0,004
Тальк-магнетитовые	38,10	0,021	0,013	0,008
Щелочноамфибол-магнетитовые	14,46	0,083	0,071	0,012
Куммингтонит-магнетитовые	12,80	0,125	0,109	0,016
Биотит-магнетитовые	7,78	0,36	0,332	0,028
Малорудные кварциты	8,78	0,469	0,426	0,041
Безрудные кварциты	6,86	0,379	0,353	0,026

мальных участков, связанных с тектоникой, где более характерны прожилковые текстуры.

В таблице 3 приводятся данные ОАО «Белмеханобрчермет» по соотношению на Лебединском месторождении минералого-петрографических разностей кварцитов и содержанию в них серы

Железистые кварциты расположены в таблице 3 в порядке их залегания в разрезах относительно сланцев. Безрудные кварциты контактируют непосредственно со сланцами, а железнослюдковые наиболее удалены от них. Это соответствует последовательности накопления в фаціальном ряду первичных осадков относительно береговой линии и согласуется с изменением в них показателя Eh

Постепенное снижение содержания серы от контакта со сланцевыми горизонтами в модели Н.А. Плаксенко связывается с уменьшением резерва органики по мере удаления от береговой линии. Углеродистое вещество переносилось вместе с тонкой взвесью, поэтому гематитовые кварциты, являясь наиболее глубоководными, практически лишены элементов – примесей, в том числе и серы.

Нами производилось сравнение химических составов сульфидизированных кварцитов по пробам из восточной части карьера и представляющих начало и конец фаціального железорудного профиля (безрудные, малорудные кварциты с углеродсодержащими тончайшими слоями сланцев и гематитсодержащие кварциты). Для подавляющего большинства элементов их концентрации уменьшаются со снижением доли силикатов и углерода, достигая минимума в гематитсодержащих кварцитах, за исключением олова, мышьяка, свинца и ртути. Накопление последних в гематитсодержащих кварцитах можно объяснить тем, что сульфидная минерализация в них наложенная и связана с гидротермальной проработкой пород, в отличие от сингенетических сульфидов малорудных кварцитов.

Максимальное содержание серы в зоне перехода метапелитов и железистых силицитов связано с плохой фильтрационной способностью этих осадков и накоплением органики, разложение которой сопровождалось образованием метана и сероводорода. Биогенная природа серы в железистых кварцитах сейчас мало у кого вызывает сомнения. О ней свидетельствуют и изотопные

данные и находки в железистых кварцитах органогенных форм. Тем не менее, в научных кругах периодически к этому вопросу возвращаются, например, он поднимался в одной из дискуссий в РАН РФ в 2001 г. в связи с докладом заведующего лабораторией Института микробиологии РАН академика Г.А. Заварзина «Становление биосферы». По его мнению, лишь около 2 млрд лет назад, в период господства на Земле бактерий, были заложены основы биосферы современного типа. «Сульфиды появились потом (после накопления железистых кварцитов), потому что нижняя точка образования сульфатного океана, который «поглотил» вторую половину кислорода (первая была связана в железистых кварцитах (курсив наш. – примеч. автора)), прослеживается до 2 млрд лет назад. Раньше кислорода в атмосфере просто не было». На это последовало возражение академика М.В. Иванова: «Достаточно точно установлено время, когда началась деятельность биологического серного цикла. Оно определяется по времени начала фракционирования стабильных изотопов серы – это 2,6–2,9 млрд лет назад. Так что вряд ли железный цикл предшествовал серному. Другое дело, какие были масштабы этих циклов. Но в принципе получены прямые доказательства тому, что серный цикл начался раньше массового образования минералов окисного железа».

3. Проблемы эксплуатационного картирования железистых кварцитов, связанные с аномальными концентрациями серы

Осадочная модель принята на вооружение в качестве методологической основы картирования всех железорудных месторождений подобного типа, но при всей ее логической стройности она имеет тот недостаток, что представляет лишь один из этапов их формирования, в то время как характер последующих преобразований минеральных фаз освещен пока недостаточно. Лишь в последние годы для месторождений КМА начаты систематические исследования в этом направлении [8]. Это важно для решения ряда прикладных задач по металлогении и стратиграфии докембрия, так как железистые кварциты охотно используются в качестве маркирующих горизонтов.

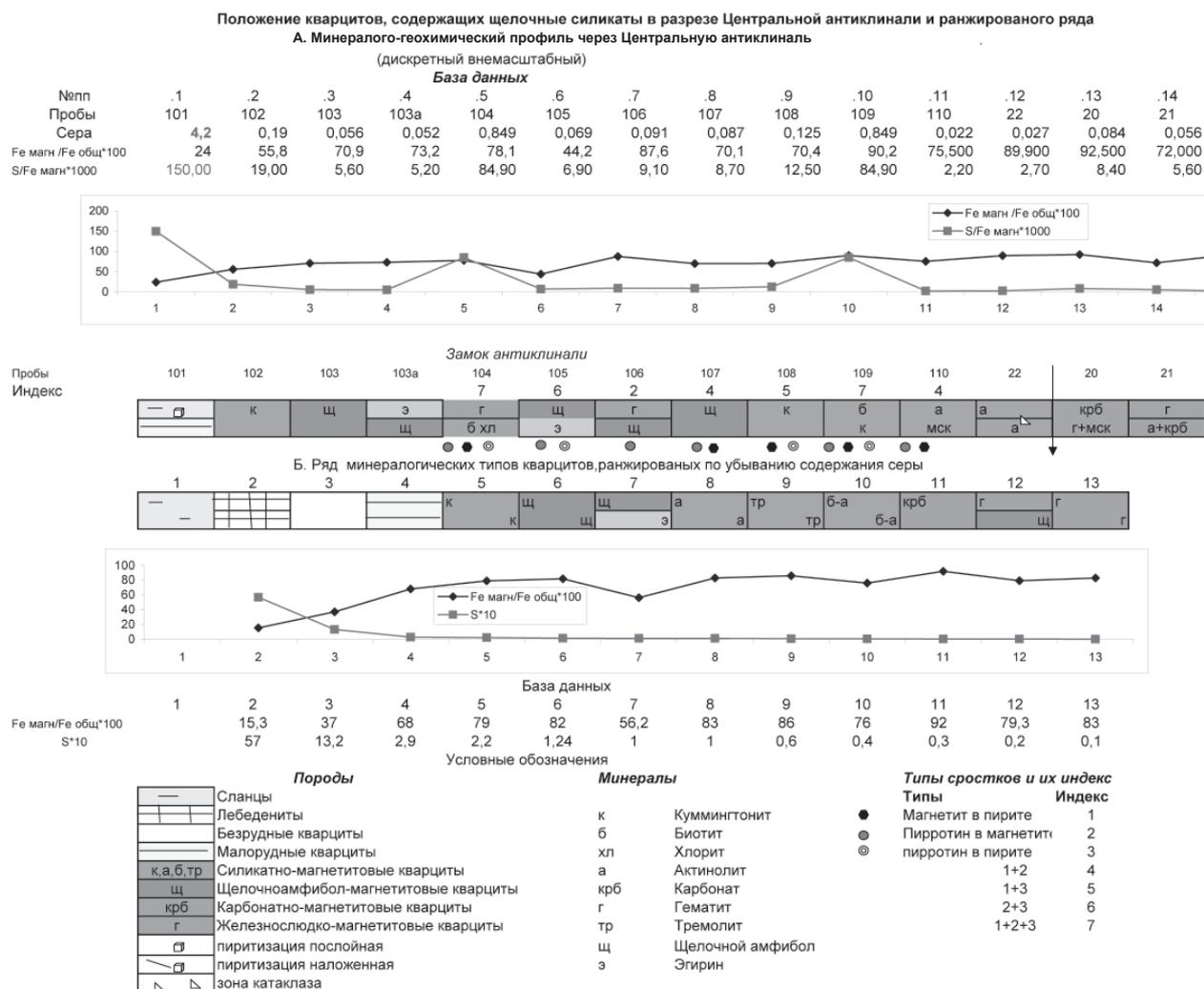


Рис. 1. Распределение серы в породах по профилю Центральной антиклинали и в кварцитах, ранжированных по убыванию серы:

А – по профилю через Центральную антиклиналь;
 Б – в железистых кварцитах, ранжированных по убыванию содержания серы

В модели Н.А. Плаксенко рассмотрены наиболее общие закономерности строения формации и в ней достаточно схематично отображены зависимости между химическими элементами и их минеральными формами. Это нашло отражение и на геологических схемах, построенных на основе этой модели. Например, на геологической карте, которая используется при эксплуатационной разведке Лебединского месторождения, нет места щелочным разновидностям кварцитов, хотя их доля весьма велика; поле магнетитовых кварцитов очень расширено, но в действительности они заметно дифференцированы по составу второстепенных минералов, с чем коррелируется и содержание серы.

При резком доминировании железа и кремния минеральный состав железистых кварцитов на первый взгляд не отличается особым разнообразием. Однако примеси других компонентов (щелочей, щелочноземельных элементов и ряда малых элементов) было достаточно для образования собственных фаз силикатных и карбонатных минералов, особенностью которых является высокое содержание железа в разных

его формах. Постепенный характер изменения химического состава первичного осадка на фаціальном профиле обусловил возникновение при метаморфизме и минералов: переменного состава при непрерывной смесимости (слюд, амфиболов, пироксенов, карбонатов) с изоморфным замещением основных химических компонентов. Лишь наиболее поздние процессы уже при упругих деформациях за счет локального перераспределения вещества приводят к образованию относительно простых по химическому составу метасоматических и жильных образований (доломитовые, кальцитовые, кварцевые, железнослюдковые). Но они, как и дайки, даже при значительной насыщенности не оказывают заметного влияния на перераспределение серы. Литологический контроль распределения, восстановительный серный барьер, приуроченный к сланцевым горизонтам, – доминирующие факторы локализации сульфидной минерализации (рис.1).

В то же время, очевидны и проявления более поздних генераций сульфидов, приуроченных уже к зонам хрупких деформаций, проявленных в блоковых

смещениях, катаклазе и трещиноватости пород. Здесь возникают жильные формы сульфидов, цементные текстуры, где помимо обычных пирита и пирротина, в заметном количестве появляются и сульфиды других металлов. Наиболее значительные дизъюнктивные нарушения принадлежат двум системам. Первая, более ранняя, трассируется двумя субширотными поясами даек, вторая, поздняя – межформационными срываами, согласными с северо-западным простиранием основных пликтивных структур. При этом тектонические срывы чаще всего возникают по контактам пород разных физико-механических свойств – сланцев и кварцитов (компетентные и некомпетентные слои). Поэтому и возникает эффект наложения литологического и структурного факторов локализации сульфидной минерализации, когда разные ее генерации оказываются пространственно совмещенными. Однако, зоны сульфидной минерализации, контролируемые тектоническими структурами, могут отличаться и некоторыми особенностями состава и сложения минералов. Нами впервые отмечена в этом отношении роль замковых частей антиклинальных складок второго порядка. По осевой линии этих структур более всего распространен пирротин, а также именно здесь наиболее часто встречаются тонкие сростки сульфидов с магнетитом, которые при обогащении руды не уходят в хвосты, тем самым повышая содержание серы в концентрате. Минераграфические исследования показали, что текстурно-структурные соотношения рудных минералов в них достаточно разнообразны. Мы попытались формализовать сочетания минералов в сростках, присвоив им условный индекс, значение которого пропорционально привнесу серы при попадании сростка в концентрат. Наметилась некоторая тенденция приуроченности сростков с высокими индексами к замковым частям антиклинальных складок второго порядка, что можно интерпретировать как усложнение минеральных фаз в зонах максимального тектонического напряжения (см. рис. 1).

Соотношение в кварцитах пирротина и пирита является наиболее важным моментом, так как имен-



Рис. 2. Структура пластичного течения в обломке эпидот-актинолит-хлоритового сланца в пирротиновом цементе из зоны дробления. Штуф брекчии из зоны дробления железистых кварцитов, $\frac{1}{5}$ натур. величины

но первый, обладая магнитными свойствами, в первую очередь попадает в концентрат. Поэтому крайне необходимо знать пограничные условия их образования. К сожалению, однозначного ответа на это пока нет. Описаны условия перехода пирита в пирротин (инверсия) при контактном метаморфизме по реакции десульфидизации при температуре 743 °С (Куллеруд, Йодер, 1966), реконструирован механизм преобразования пирита в пирротин при 400 °С под воздействием буфера C/CO₂ [9]. С другой стороны имеются исследования, где показано, что пирротин является индикатором более восстановительной обстановки, независимо от РТ-условий [10,11]. Текстуры пластичного течения вещества с хлорит, актинолит, эпидот, пирротиновой ассоциацией минералов наблюдались нами в зоне брекчирования в замке северного замыкания Центральной антиклинали (рис. 2).

Наиболее молодые генерации сульфидов присутствуют в открытых трещинах с развитием линейных кор выветривания. В.П. Рахманов, один из первых исследователей, изучавших типоморфизм сульфидов в железистых кварцитах КМА, отмечал как отличительные особенности гипергенных пиритов наличие микроразнонального сложения и преобладания октаэдрических форм кристаллов в отличие от всех более ранних генераций, которые представлены кристаллами кубического габитуса [10].

Проблема серы, так или иначе, затрагивает и вопрос о природе щелочных минералов в данной формации. Кварциты, содержащие эти минералы, хорошо измельчаются и дают хороший выход концентрата. Между тем на геологической карте карьера, которая служит основой эксплуатационной разведки, они как самостоятельный технологический тип не выделены, хотя и доля их на месторождении велика. И это не случайно – нет общепринятого понимания соотношения их с другими фациальными типами кварцитов и нет понимания принципа их отображения на карте. Имеются две текстурные разновидности кварцитов с щелочными силикатами – послойные и секущие, соответственно выдвинуты и две основные версии происхождения щелочных минералов. По одной из них эти минералы представляют собой результат так называемого ограниченного щелочного метасоматоза [12], по другой – они образовались при изохимическом метаморфизме осадков, с повышенными содержаниями щелочей [14, 13]. Существует и разновидность второй точки зрения, согласно которой такие осадки накапливались в условиях, сходных с процессами накопления эвапоритов более поздних геологических эпох [15].

Проблема в том, что пока никому не удалось найти место щелочноамфиболовым и эгириновым кварцитам в литолого-стратиграфической колонке формации. Такая попытка была предпринята нами на основании изучения различий в химическом составе щелочных

**Соотношение серы и железа в щелочноамфиболовых железистых кварцитах
Лебединского месторождения**

Пробы	Содержание химических компонентов в %		Содержание минералов в % от площади шлифа	
	<i>Сера</i>	<i>Железо (магнетитовое)</i>	<i>Щелочные амфиболы</i>	<i>Гематит</i>
Гематитсодержащие разности				
1	2	3	4	5
M-17/1	0,052	34,19	20	Ед
M-1	0,034	29,37	20	7
M-134	0,027	35,61	15	Ед
M-44	0,033	27,88	6	7
M-6	0,022	24,8	25	8
XV-10	0,021	26,07	5	10
M-139	0,019	29,08	5	17
XV-33	0,012	26,49	20	13
XV-26	0,012	32,35	5	0
M-29	0,012	24,44	8	12
M-8	0,010	25,21	10	11
M-142	0,011	29,51	15	4
M-138	0,009	28,67	25	17
Среднее	0,02	28,74	14,1	
Разности без гематита				
M-4	0,364	42,85	20	-
M-26	0,324	34,16	40	-
M-47	0,17	36,2	15	-
XV-11	0,154	32,36	10	-
M-35	0,128	23,33	52	-
M-120/1	0,125	26,58	40	-
M-125/2	0,123	27,54	25	-
XV-20	0,117	35,37	22	-
M-107	0,087	23,88	78	-
M-103	0,056	24,37	50	-
M-30	0,036	26,09	30	-
M-11/3	0,018	38,14	20	-
XV-35	0,016	25,44	75	-
XV-31	0,013	33,52	17	-
Среднее	0,124	30,7	35,8	-

минералов в зависимости от положения в разрезе рудных толщ. В результате установлено, что щелочные амфиболы в железистых кварцитах присутствуют в двух минеральных ассоциациях, которые различаются присутствием или отсутствием гематита. В первом случае доля щелочных амфиболов в среднем вдвое выше, а серы больше почти на порядок (табл. 4).

По средним значениям (200) химических анализов произведено ранжирование минералогических типов кварцитов по убыванию содержания серы (см. рис. 2). Две вышеупомянутые минеральные ассоциации с щелочными минералами в ранжированном ряду оказались пространственно разобщенными. Место одной из них между куммингтонитовыми и актинолит-тремолитовы-

ми, а другой (с железной слюдкой) между карбонат-магнетитовыми и железнослюдковыми кварцитами. Оказалось, что щелочные амфиболы в разрезе формации не просто изменчивы по химическому составу, но меняется он вполне согласованно с общей направленностью изменений химизма слагающих ее пород (рис. 3).

В послынных щелочных амфиболах согласованным распределением относительно серы и между собой обладают кальций, магний и железо. Щелочные амфиболы в катаклазитах, где максимальные содержание серы и минимальное содержанием железа по соотношению химических компонентов достаточно заметно отличаются от таковых из кварцитов с ненарушенным сложением. В послынных щелочных амфибо-

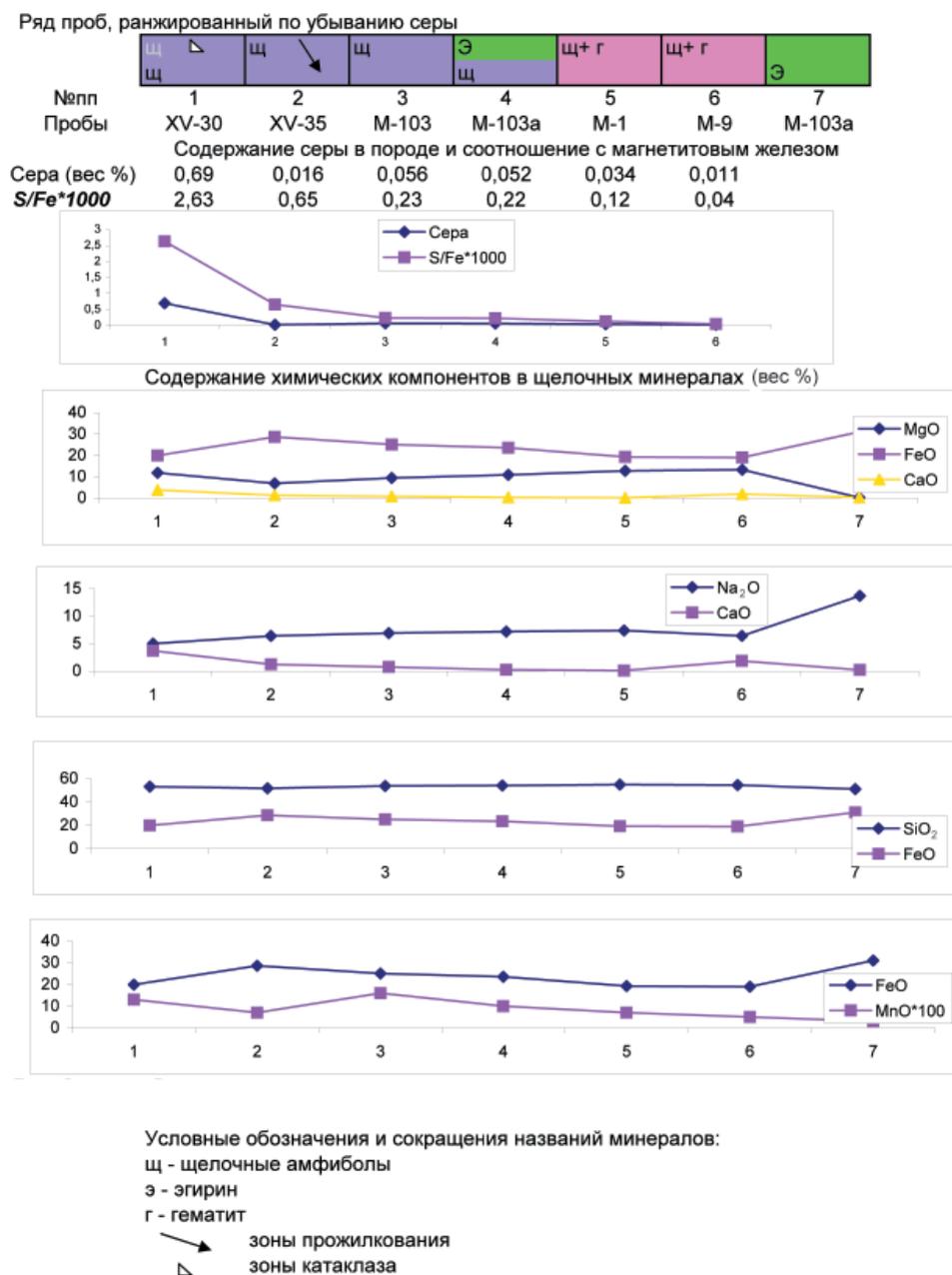


Рис. 3. Составы щелочных минералов в разновидностях железистых кварцитов (ранжированный ряд по убыванию серы в породе)

лах изменения содержаний химических компонентов на фоне снижения содержания серы происходят плавно. $\text{FeO}+\text{Fe}_2\text{O}_3$ и MgO имеют обратную корреляционную связь – содержание железа общего снижается, а содержание магния, наоборот, возрастает. Обратное соотношение также между кальцием и магнием. Содержание кальция в целом снижается с уменьшением содержания серы. Подобное соотношение для Na и Ca . Содержание натрия по профилю в целом возрастает с увеличением кислородного потенциала. Так как ранжированный по сере ряд изученных пород соответствует аутигенно-минералогической зональности первичного фациального профиля, то можно сделать вывод о том, что эти различия в составе щелочных амфиболов вызваны особенностями первичного осадка.

Выводы

1. Сульфидная минерализация в железистых кварцитах Лебединского месторождения полигенная, но основной резерв серы образовался еще на стадии литогенеза. Иного заметного источника ее не было, поэтому сера сосредоточена главным образом вблизи сланцевых пачек на восстановительном геохимическом барьере.

2. Структурный контроль этой минерализации имеет место, но его роль сводится к несущественному пространственному перераспределению компонентов и изменению минеральных парагенезисов преимущественно на стадии хрупких деформаций. На месторождении наиболее заметно проявлены две системы разрывов – субширотная и северо-западная. Первая фиксируется двумя субширотными поясами даек, не несущими сульфидов. Вторая представляет собой, главным образом, межформационные срывы, проявлена на границе слоев разной компетенции по механическим свойствам – сланцами и кварцитами. Фиксируется зонами катаклаза и милонитизации пород с перераспределением серы и других элементов, с изменением минеральных фаз. Имеется тенденция возрастания доли пирротина.

3. Гидротермальные и метасоматические проявления имеют локальный характер и также не приводят к заметному пространственному перераспределению серы.

4. Проблема эксплуатационного картирования на месторождении связана с необходимостью изменения методического подхода при изучении распределения серы, что сводится к большей детальности сети наблюдений на основе учета индикаторной роли силикатных, возможно и карбонатных минералов. Необходимо более дробное деление магнетитовых и силикатно-магнетитовых типов руд с картированием, прежде всего, щелочно-амфиболовых разновидностей, доля которых на месторождении весьма существенна. По содержа-

нию серы они качественно отличаются от куммингтонитовых, поэтому объединение их в одном типе (силикатно-магнетитовых) недостаточно корректно.

5. Впервые на основании изучения состава щелочных минералов показано, что они занимают вполне определенное место в аутигенно-минералогической зональности на фациальном железорудном профиле.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плаксенко, Н.А. Главнейшие закономерности железорудного осадконакопления в докембрии / Н.А. Плаксенко. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1966. – 267 с.
2. Страхов, Н.М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли / Н.М. Страхов. – М., 1963.
3. Щеголев, И.Н. Железорудные месторождения докембрия и методы их изучения / И.Н. Щеголев. – М., 1985. – 195 с.
4. Шатров, В.А. Особенности распределения редкоземельных элементов в железистых кварцитах (на примере Лебединского месторождения КМА) / В.А. Шатров, В.И. Сиротин, Г.В. Войцеховский // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы : материалы междунар. конф. – Воронеж, 2002. – Т. 2. – С. 327–329.
5. Плаксенко, Н.А. Элементы-примеси в железисто-кремнистых породах докембрия КМА / Н.А. Плаксенко, И.К. Коваль. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1981. – С. 215.
6. Чернышов, Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона / Н.М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004.
7. Ильяш, В.В. Формационная принадлежность конгломератов ВКМ / В.В. Ильяш, В.Ю. Кудрин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – № 5. – 1998.
8. Савко, К.А. Минералогия, фазовые равновесия и условия метаморфизма пород нерархейской железисто-кремнистой формации КМА в пределах Тарасовских аномалий / К.А. Савко, С.М. Пилюгин, М.А. Новикова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер. Геология. – № 2. – 2004. – С. 100–111.
9. Ворошин, С.В. Преобразования пирита в пирротин при метаморфизме пород верхоянского комплекса / С.В. Ворошин, В.В. Акинин, Т.И. Махоркина // Доклады РАН РФ. – 1993. – Т. 330. – № 6. – С. 733–735.
10. Рахманов, В.П. О пиритах в железных рудах курской магнитной аномалии (КМА) / В.П. Рахманов // Очерки по металлогении осадочных пород : сб. – М., 1961.
11. Соловов, А.П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых / А.П. Соловов. – М., 1989.
12. Глаголев, А.А. Метаморфизм докембрийских пород КМА / А.А. Глаголев. – М. : Наука, 1966. – 157 с.
13. French, B.M. Mineral assemblages in diagenetic and low-grade metamorphic iron formations / B.M. French // Econ. Geol. – 1973. – V. 68. – P. 1063–1074.
14. Савко, К.А. Рибекит-эгирин-саладонитовые железистые кварциты Михайловского железорудного месторождения Курской магнитной аномалии: фазовые равновесия и условия метаморфизма / К.А. Савко, М.В. Поскрякова // Петрология. – 2003. – Т. 11. – № 5. – С. 471–479.
15. Лебедев, И.П. Суперкрупные формации, метаморфизм и геодинамические процессы в докембрии ВКМ / И.П. Лебедев // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы : материалы междунар. конференции. – Том 1. – Воронеж, 2002. – С. 158–161.