

УДК 549 : 553.31 (540)

Зима С.Н.

## ЭПИГЕНЕТИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД БАСЕЙНА СИНГХБУМ (ИНДИЯ)

*Проанализированы результаты минералогического изучения богатых железных руд приповерхностных залежей одного из месторождений железорудного бассейна Сингхбум (Юго-Восточная Индия). Показано, что содержание железа в составе руд зависит, в основном, от соотношения каолинит-дисперсногематитового и железнослюдко-мартитового компонентов. По результатам микроскопических исследований, выделены реликтовые, рудогенные и эпигенетические минералы, последние заполняют пустоты в рудах. Приведены результаты обогащения руд с целью производства железорудного (гематитового) концентрата с общим содержанием железа не менее 66 мас. %.*

Месторождения железисто-кремнистой формации докембрия являются основной базой черной металлургии большинства промышленно развитых стран. Поэтому изучение их пространственного размещения, возрастной принадлежности, состава и строения руд, их эпигенетических преобразований являются важной геологической задачей.

Железные руды разного возраста и генезиса известны во всех штатах Индии [2]. Но наибольший экономический интерес представляют месторождения железорудных формаций нижне-верхнеархейского и нижне-верхнепротерозойского возраста. Они выявлены в нескольких штатах страны: Бихар, Орисса, Мадхья-Прадеш, Гоа, Кранатака, Тамилнад, Андхра-Прадеш. В первых пяти сосредоточено более 80% общих запасов всех железных руд Индии. Работая в течение трех лет консультантом-минералогом в научно-исследовательском центре при Министерстве черной металлургии Индии (г. Ранчи, штат Бихар), автор имела возможность ознакомиться с рудами многих докембрийских месторождений. В дальнейшем минералогические

исследования и технологические испытания руд одного из месторождений железорудного района Сингхбум, расположенного на границе штатов Орисса и Бихар, были продолжены в Научно-исследовательском и проектном институте «Механобрчермет» (г. Кривой Рог).

Изучался материал четырех минералоготехнологических проб, предоставленных индийской стороной. Использовались методы силикатного химического анализа, фазового анализа железа, полуколичественного спектрального анализа, микроскопические исследования в проходящем и отраженном свете. Для диагностики отдельных минералов использовались термографический и рентгеноструктурный анализ. Минеральный состав материала проб был рассчитан на массовые проценты, исходя из данных силикатного химического анализа и фазового анализа железа по методике, разработанной для руд изученного месторождения.

Материал проб 1, 2, 3 и 4 был отобран из зоны перехода от сланцевого горизонта к железистому с уменьшением (от пробы 1 к пробе 4) содержания каолинит-дисперсногематито-

вого и возрастанием количества железослюдко-мартитового компонентов, что сопровождалось увеличением от пробы 1 к пробе 4 общего содержания железа в составе руд (табл. 1).

Методом полуколичественного спектрального анализа в материале проб было обнаружено не представляющее промышленного интереса содержание Ti (0,1-0,5); Mn (0,001-0,005); Cr (сл.); V (сл.); Ni (менее 0,001); Cu (сл.); Pb (сл.); Ba (сл.) и Sn (0,001-0,003%).

Все исходные пробы были представлены рыхлым, сыпучим материалом буровато-коричневого цвета. Материал с размером частиц более 5 мм, состоящий, в основном, из крепких колломорфных агрегатов гематита, присутствовал в незначительном количестве.

Таблица 1.  
Содержание химических компонентов (мас.%) в составе материала изученных руд

Химические компоненты	Пробы			
	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	9,08	6,20	4,17	2,00
TiO <sub>2</sub>	0,551	0,398	0,203	0,155
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,90	5,71	5,50	3,65
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	75,10	81,00	84,20	87,90
FeO	0,30	0,30	0,25	0,40
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,236	0,193	0,154	0,169
S <sub>общ.</sub>	0,010	0,012	0,006	0,007
п.п.п.	6,43	5,84	5,26	5,43
Fe <sub>общ.</sub>	52,80	56,90	59,10	61,80
Fe <sub>магн.</sub>	0,30	0,30	0,20	0,20

Материал изученных проб характеризовался простым минеральным составом. Главными рудными минералами были гематит в виде нескольких морфологических и генетических разновидностей и гидроксиды железа; второстепенное значение имел магнетит. Нерудные минералы были представлены, в основном, каолинитом, в значительно меньшем количестве – гидроксидами алюминия и кварцем, а также железо-содержащими карбонатами и реликтовыми силикатами (в сумме 0,3-0,5 мас.%). В количестве 0,4-0,5 мас.% присутствовал апатит.

Для материала всех проб был характерен одинаковый набор минералов, менялось только их количественное соотношение.

Содержание гематита, главным образом, мартита, в материале проб возрастало с увеличением содержания в их составе Fe<sub>общ.</sub> от 47,3 до 61,7 мас.%. Исключением является проба 4 – в ее составе количество гематита было пониженным (56 мас.%) в связи со значительно более высоким содержанием гидроксидов железа (35,9 мас.%) по сравнению с другими пробами (25,7-31,4 мас.%).

Высоким было содержание глинозем-содержащих минералов: каолинита (от 3,8 до 14,1 мас.%) и гидроксидов алюминия (2,6-3,3 мас.%).

Все пробы характеризовались низким содержанием кварца от 0,14 мас.% в составе материала самой богатой пробы до 2,50 мас.% в составе материала самой бедной.

Изучение полированных и прозрачных шлифов позволило восстановить генезис руды, определить ее текстурные и структурные особенности, а также составить характеристику основных рудных и нерудных минералов и сравнить пробы по указанным параметрам.

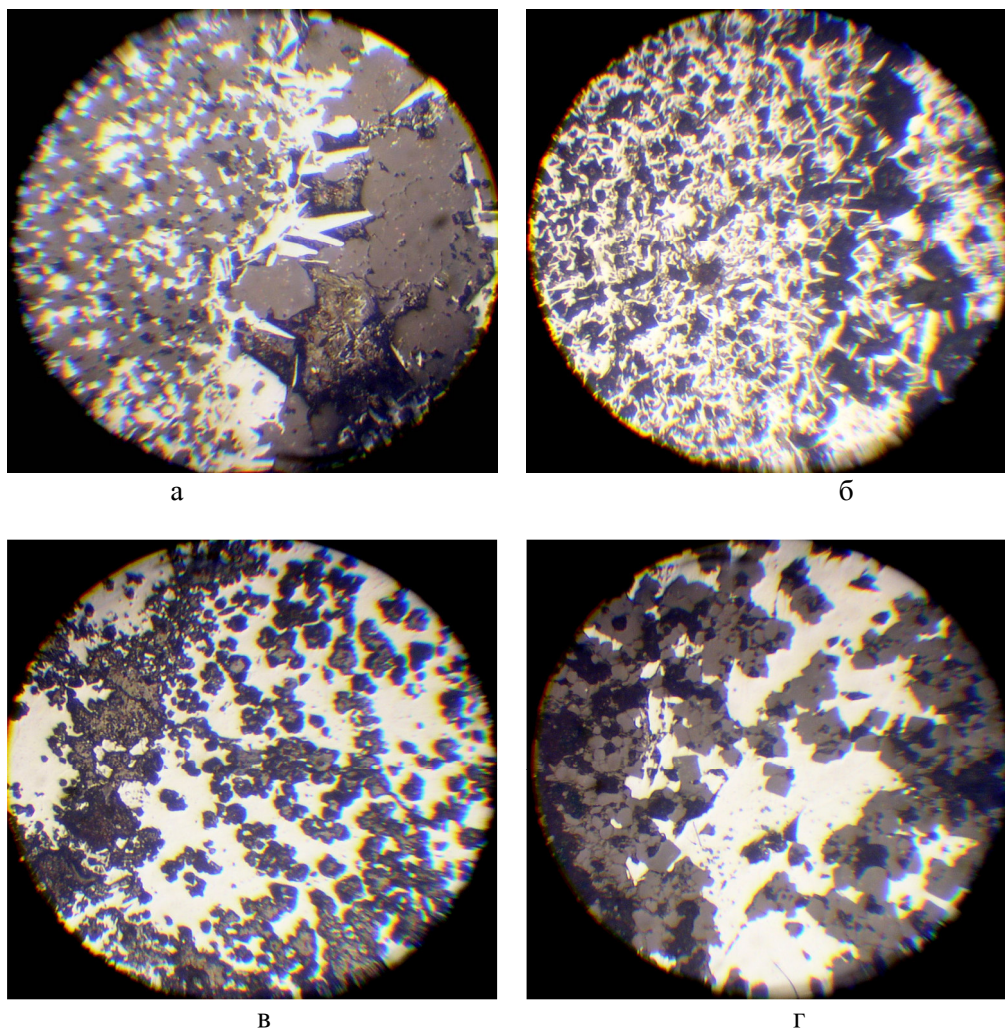
Было установлено, что руда всех проб первоначально характеризовалась слоистой текстурой, обусловленной чередованием тонких слоев (мощность от 0,05 до 2-3 мм) разного минерального состава и структуры (рис. 1а, б). Растворение нерудных и преобразование железо-содержащих минералов способствовало интенсивному развитию пористости и некоторому деформированию слоистости руд. С последующим осаждением гипергенных минералов (гематита, гидроксидов железа и гидроксидов алюминия) в порах, пустотах и трещинах руд было связано образование эпигенетических структур, прежде всего цементационной.

Ниже приведена характеристика основных минералов руд – образовавшихся в основной этап их формирования (преобразование минералов, содержащих двухвалентное железо, и выщелачивание кварца) и эпигенетических, цементационных, отлагавшихся в пустотах пористых руд.

**Первичные минералы руд.** *Мартит* – наиболее распространенная разновидность гематита, представляющая собой псевдоморфозу железной слюдки по магнетиту с сохра-

нением формы и размера его выделений. Мартит распространен в виде отдельных идиоморфных (сочетание граней куба и октаэдра) выделений размером 0,04-0,16 мм, но чаще

агрегатов разной формы – ленточной, изометрично-сростковой и др. Размер агрегатов колеблется от 0,1 до 0,8 мм. Выделения мартиита характеризуются пористостью и хрупкостью.



**Рис. 1.** Морфологические разновидности эпигенетического гематита.  
*а* – кристаллы цементационной железной слюдки на контакте рудного (кварц-мартиитового) и нерудного (кварцевого) прослоя;  
*б* – разная ориентировка кристаллов цементационной железной слюдки в пористой руде;  
*в* – хлопьевидные выделения гематита;  
*г* – проявление цементации агрегатов мартиита и кварца агрегатами эпигенетического гематита.

Белое – мартит и железная слюдка; темносерое – кварц и другие нерудные минералы; черное – поры.

Отраженный свет, без анализатора; увеличение: *а, б, в* – 175<sup>x</sup>; *г* – 85<sup>x</sup>.

Нередко встречаются футляровидные формы, обусловленные наличием только тон-

кой оболочки мартиита с пустотой растворения недоокисленной части исходного кристалла

магнетита. «Футляры» мартита иногда заполнялись новообразованными минералами.

**Железная слюдка** также широко распространена в рудах, количественно немного уступая мартиту. Образует кристаллы таблитчатой, чешуйчатой формы (размер от долей до 10-15 мкм) в отдельных прослоях руды, иногда совместно с мартитом. Отмечается послойно ориентированное расположение чешуек железной слюдки.

**Дисперсный гематит** – продукт выветривания первичных железистых карбонатов и силикатов. Его очень мелкие (от долей до 1-2 мкм) выделения концентрируются в местах расположения этих разложившихся минералов – на контактах рудных слоев или в виде самостоятельных прослоев, в которых микрокристаллы дисперсного гематита часто находятся в сростании с близкого размера кристаллами каолинита. Особенно это характерно для материала проб 1 и 2.

**Магнетит** – редкий минерал в материале всех проб. Присутствует в виде включений размером не более 15-20 мкм в агрегатах мартита. Часто наблюдается растворение магнетита, что, как отмечалось выше, приводило к образованию футляровидных агрегатов мартита. Часть магнетита замещена гидроксидами железа.

**Кварц** в материале проб 1, 2, 3, 4 присутствует в количестве, соответственно, 2,50; 1,65; 0,25 и 0,14 мас.%. Обычно образует дезинтегрированные зернистые агрегаты (маршалит) с размером частиц от 10 до 25 мкм – как в рудных, так и нерудных слоях. Индивиды кварца не содержат рудных включений, но нередко бывают сцементированы рудным материалом (гематит и гидроксиды железа).

**Каолинит**, являясь основным нерудным минералом, содержится в пробах 1, 2, 3 и 4 в количестве, соответственно, 14,1; 9,8; 8,4 и 3,8 мас.%. Являясь одним из конечных продуктов выветривания, концентрируется в местах распространения выветренных первичных силикатов, обычно в виде тонкочешуйчатых (доли мкм) агрегатов, нередко совместно с дисперсными гидроксидами железа и гематитом. Эти агрегаты являются непрочными и легко разрушаются при небольшом нажатии.

**Эпигенетические минералы. Цементационная железная слюдка** очень распространена, но в количественном отношении уступает описанным ранее разновидностям гематита. Форма проявления – часто хорошо ограненные кристаллы пластинчатого облика размером 10-100 мкм (рис. 1а). Эта разновидность гематита сопровождает все другие и присутствует в рудах всех разновидностей и в составе как рудных, так и нерудных слоев. Его кристаллы нарастают на поверхности агрегатов рудных минералов и, беспорядочно располагаясь в порах, цементируют руду (рис. 1б). Часто наблюдается регенерация выделений первичного гематита, они разрастаются и приобретают вид хлопьевидных образований сложной формы (рис. 1в, г). Слабее цементация гематитом проявлена в дисперсногематитовых слоях руд, особенно в содержащих каолинит.

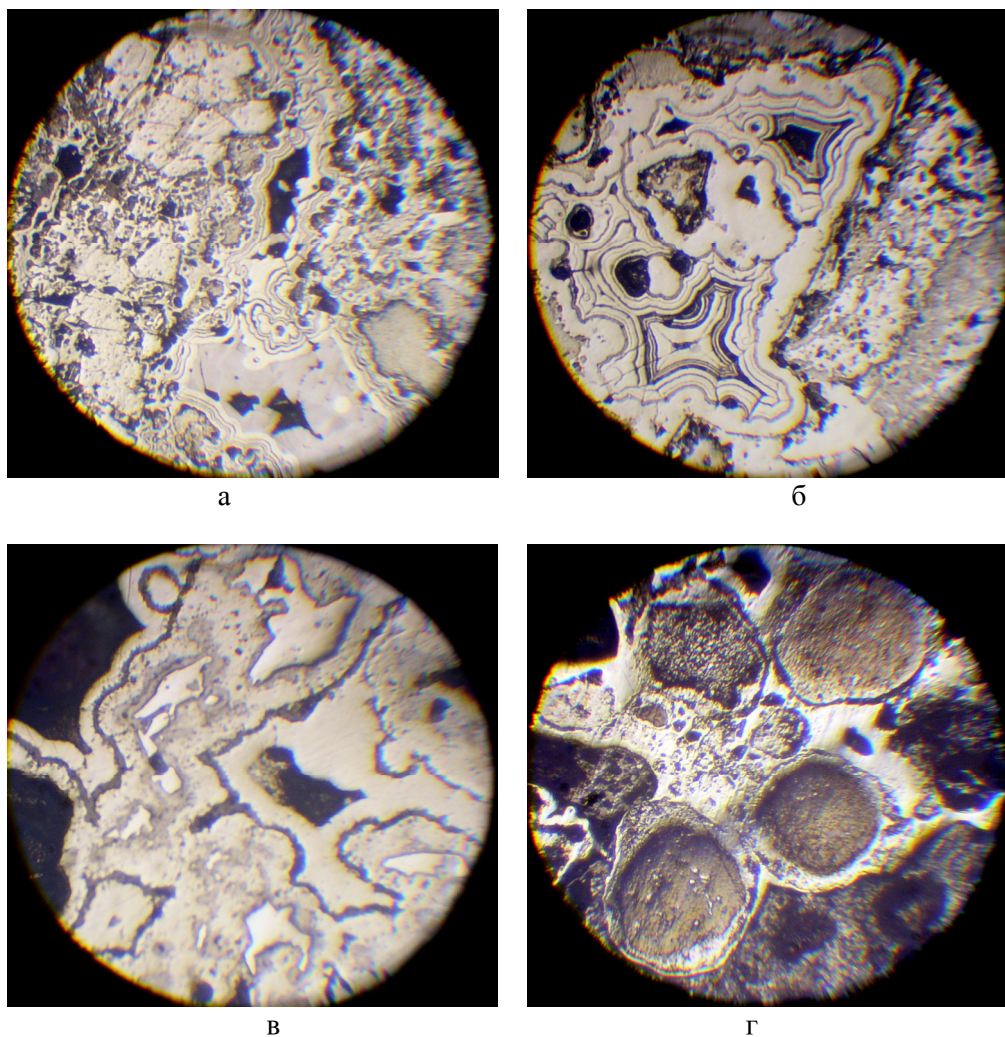
**Колломорфный гематит**, как одна из последних по времени образования разновидностей гематита, пользуется большим распространением в рудах, но крупных концентраций не образует. Присутствует в составе всех концентрически-зональных образований гидроксидов железа и гидроксидов алюминия, слагая отдельные зоны (рис. 2а) и создавая в пористых рудах пленки толщиной 10-20 мкм, вплоть до образования сплошного цемента (рис. 2г).

**Гидроксиды железа** представлены гетитом, дисперсным гетитом (гидрогетитом), лепидокрокитом, что подтверждено результатами рентгеноструктурного и термографического анализа. Лепидокрокит в полированных шлифах отличается от других гидроксидов железа голубоватым оттенком серого цвета и хорошей полируемостью (рис. 2а). Содержание гидроксидов железа в материале изученных проб от 25,7 до 35,9 мас.%. Количественное соотношение гидроксиды железа/гематит в материале проб 1, 2, 3, 4 составляет 1,5; 1,7; 2,4 и 1,6. Материал пробы 1 характеризуется наиболее высоким содержанием дисперсного гетита и лепидокрокита.

Обычная форма проявления гидроксидов железа – цементационные метаколлоидные структуры (рис. 2б, в), в которых они слагают отдельные слойки и зоны, сростаясь с колло-



морфным гематитом и гидроксидами алюминия.



**Рис. 2.** Метаколлоидные структуры цементационных минералов из пористых гематитовых руд месторождения.

а) каемки гематита (белое) в метаколлоидных структурах с гетитом, дисперсным гетитом и лепидокрокитом;

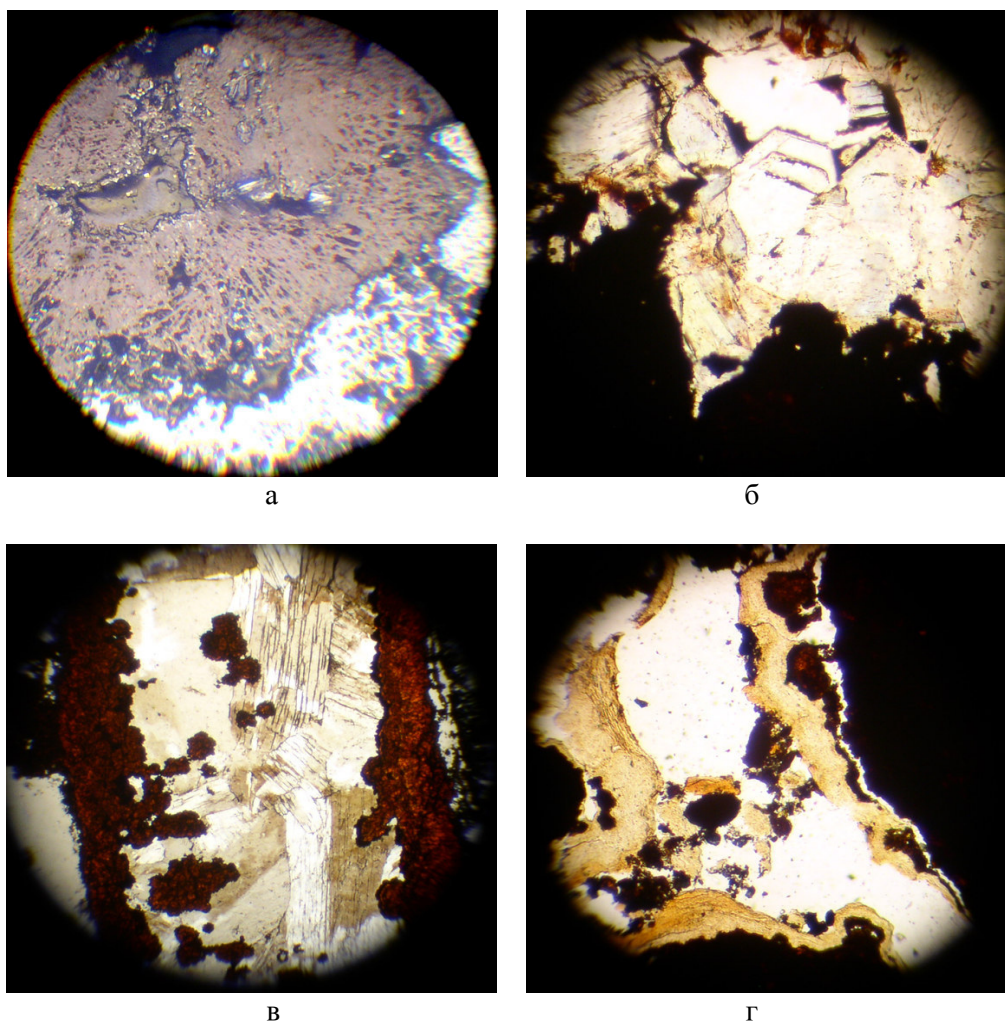
б) совместная цементация руды гидроксидами железа (серое) и гидроксидами алюминия (темносерое);

в) каемчатые выделения гидрагиллита (темносерое) в почковидных агрегатах гетита и дисперсного гетита (серое);

г) оолитоподобные образования гидроксидов алюминия (темносерое) в гематитовом цементе.

Белое – мартит, колломорфный гематит и другие разновидности гематита; светлосерое – гетит, дисперсный гетит, лепидокрокит; темносерое – нерудные минералы; черное – поры.

Отраженный свет; без анализатора; увеличение: а, б, г – 85<sup>x</sup>; в – 175<sup>x</sup>.



**Рис. 3.** Морфология индивидов и агрегатов гидроксидов алюминия.  
 а) лучисто-листоватые агрегаты гидраргиллита (тёмносерое); отраженный свет; без анализатора; увеличение 175<sup>х</sup>;  
 б) шестиугольно-таблитчатые двойники гидраргиллита (светлое); черное – рудные минералы; проходящий свет, без анализатора; увеличение 180<sup>х</sup>;  
 в) столбчатые кристаллы диаспора (белое и светлокориичное) среди гидроксидов железа (красновато-коричневое); проходящий свет, с анализатором; увеличение 80<sup>х</sup>;  
 г) корочки эпигенетического силиката (желтовато-бурое) в гетит-гематитовой руде (черное); белое – пустоты; проходящий свет; без анализатора; увеличение 180<sup>х</sup>.

Иногда в порах руд отмечаются кристаллы гетита столбчатой формы. В материале проб 1 и 2 гидроксиды железа нередко образуют охристые слабосвязанные агрегаты совместно с каолинитом.

**Гидроксиды алюминия** содержатся в материале всех изученных проб примерно в одина-

ковом количестве – около 3 мас.%. Представлены, в основном, гидраргиллитом, реже, бемитом и диаспором.

Гидраргиллит чаще всего представлен оолитоподобными натечными образованиями, размер которых колеблется от 0,02 до 1,5 мм (рис. 2г). Нередко они содержат включения

гематита и гидроксидов железа или сцементированы этими минералами. Распространены также тонкие (10-30 мкм) каемки гидрагиллита в натечных колломорфных структурах гидроксидов железа и гематита (рис. 2в). Реже встречаются лучисто-листоватые агрегаты (рис. 3а) и шестиугольно-таблитчатые двойники (рис. 3б).

Диаспор установлен в порах и пустотах руд в виде агрегатов столбчатых кристаллов (рис. 3в) размером от 0,04×0,25 до 0,2×0,4 мм.

Кроме перечисленных нерудных минералов, в рудах изредка в небольшом количестве отмечается эпигенетический силикат, образующий корочки концентрического или радиально-лучистого строения (рис. 3г).

Карбонаты присутствуют в незначительном количестве. По составу отвечают, вероятно, магнезиту.

По результатам изучения обогатимости материала четырех проб руд были определены методы и основные параметры технологии ее обогащения [1, 3, 4]. С использованием гравитационно-магнитной схемы были получены концентраты с общим содержанием железа 66,5-66,8 мас.%, с содержанием железа в составе гидроксидов 2,5-10,1 мас.% и потерями при прокаливании 1,5-5,9 мас.%.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Зима С.Н., Черевик В.В., Семенихина Е.В. Петрографическая характеристика и физические свойства бурожелезняково-гематитовой руды Индии с высоким содержанием глинозема / Новое в технологии и технике переработки минерального сырья. Сборник научных трудов института «Механообрчермет» // Кривой Рог, 2007.– С. 127-142.*

2. *Калита В.А., Крятов Б.М. Железисто-кремнистые формации Индии / Препринт Института геохимии и физики минералов АН УССР // Киев, 1986.– 48 с.*

3. *Соколова В.П., Айзенштейн С.А., Зима С.Н. и др. Определение методов и основных параметров технологии обогащения мелкозернистой фракции гематитовой руды одного из месторождений Индии / Новое в технологии и технике переработки минерального сырья. Сборник научных трудов института «Механообрчермет» // Кривой Рог, 2007.– С. 118-127.*

4. *Banerji A.K. On the Precambrian Banded Iron-Formations and the Manganese Ores the Singhbhum Region, Eastern India // Economic Geology.– 1977.– V. 72, №1.– P. 90-98.*

### **ЗИМА С.М. Епігенетична мінералізація багатих залізних руд басейну Сінгхбум (Індія).**

**Резюме.** Родовища залізисто-кремнистої формації докембрію є основною мінерально-сировинною базою підприємств чорної металургії більшості промислово розвинених країн. В Індії найбільший економічний інтерес мають родовища залізородної формації архейського та протерозойського віку в штатах Біхар, Орісса, Мадхья-Прадеш, Гоа, Кранатака, Тамілнад, Андхра-Прадеш. У перших п'яти зосереджені понад 80% загальних запасів усіх залізних руд Індії. Був детально вивчений матеріал чотирьох проб руд одного з родовищ залізородного району Сінгхбум, розташованого на межі штатів Орісса та Біхар. Матеріал усіх проб був рихлий, сипучий, вміст міцних частинок колломорфного гетиту розміром понад 5 мм був незначним. В залежності від кількісного співвідношення каолінит-дисперсногематитового та залізнослюдо-мартитового компонентів, вміст заліза в складі руд змінювався від 52,8 до 61,8 мас.%. Вміст заліза в складі магнетиту був дуже низьким – 0,2-0,3 мас.%. Для матеріалу всіх проб був характерний однаковий набір мінералів, змінювалось лише їх кількісне співвідношення. Зі збільшенням вмісту в складі руд  $Fe_{заг.}$  кількість гематиту (головним чином, мартиту) зростала від 47,3 до 61,7 мас.%. Значною була кількість глинозем-вмісних мінералів: каолініту (3,8-14,1 мас.%) та гідроксидів алюмінію (2,6-3,3 мас.%). Всі проби характеризувались низьким вмістом кварцу: від 0,14 мас.% у складі матеріалу найбільш багатой залізом проби до 2,50 мас.% у складі найбільш бідної. Мінерали чітко поділяються на реліктові (магнетит, кварц, силікати), рудогенні (мар-

тит і мени поширені залізна слюдка першої генерації, дисперсний гематит, каолінит) та епігенетичні, які виповнюють порожнини в рудах (залізна слюдка другої генерації, колломорфний гематит, гідроксиди заліза (гетит, рідше дисперсний гетит, лепідокрокит), гідроксиди алюмінію (гідраргіліт, рідше бемит і діаспор), карбонат, близький за складом до магнезиту). За результатами мінералогічних і технологічних досліджень, були визначені методи та основні параметри технології збагачення руд. З використанням гравітаційно-магнітної схеми були одержані концентрати із загальним вмістом заліза 66,5-66,8 мас.%, із вмістом заліза в складі гідроксидів 2,5-10,1 мас.% і втратами при прожарювання 1,5-5,9 мас.%.

**Ключові слова:** залізисто-кремниста формація, Індія, залізорудний басейн Сингхбум, багаті залізні руди, мінералогія, збагачення руд.

### **ЗИМА С.Н. Эпигенетическая минерализация богатых железных руд бассейна Сингхбум (Индия).**

**Резюме.** Месторождения железисто-кремнистой формации докембрия являются основной минерально-сырьевой базой предприятий черной металлургии большинства промышленно развитых стран. В Индии наибольший экономический интерес представляют месторождения железорудной формации архейского и протерозойского возраста в штатах Бихар, Орисса, Мадхья-Прадеш, Гоа, Кранатака, Тамилнад, Андхра-Прадеш. В первых пяти сосредоточено более 80% общих запасов всех железных руд Индии. Был детально изучен материал четырех проб руд одного из месторождений железорудного района Сингхбум, расположенного на границе штатов Орисса и Бихар. Материал всех проб был рыхлым, сыпучим, содержание прочных частиц колломорфного гетита размером более 5 мм было незначительным. В зависимости от количественного соотношения каолинит-дисперсногематитового и железослюдко-мартитового компонентов, содержание железа в составе руд изменялось от 52,8 до 61,8 мас.%. Содержание железа в составе магнетита было очень низким – 0,2-0,3 мас.%. Для материала всех проб был характерен одинаковый набор минералов, менялось только их количественное соотношение. С увеличением содержания в составе руд  $Fe_{общ.}$  количество гематита (главным образом, мартиита) возрастало от 47,3 до 61,7 мас.%. Значительным было количество глинозем-содержащих минералов: каолинита (3,8-14,1 мас.%) и гидроксидов алюминия (2,6-3,3 мас.%). Все пробы характеризовались низким содержанием кварца: от 0,14 мас.% в составе материала самой богатой железом пробы до 2,50 мас.% в составе материала самой бедной. Минералы четко делятся на реликтовые (магнетит, кварц, силикаты), рудогенные (мартит и менее распространенные железная слюдка первой генерации, дисперсный гематит, каолинит) и эпигенетические, которые выполняют полости в рудах (железная слюдка второй генерации, колломорфный гематит, гидроксиды железа (гетит, реже дисперсный гетит, лепидокрокит), гидроксиды алюминия (гидраргиллит, реже бемит и диаспор), карбонат, близкий по составу к магнезиту). По результатам минералогических и технологических исследований, были определены методы и основные параметры технологии обогащения руд. С использованием гравитационно-магнитной схемы были получены концентраты с общим содержанием железа 66,5-66,8 мас.%, с содержанием железа в составе гидроксидов 2,5-10,1 мас.% и потерями при прокаливании 1,5-5,9 мас.%.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формація, Індія, залізорудний басейн Сингхбум, багаті залізні руди, мінералогія, збагачення руд.

### **ZYMA S.M. Epigenetic mineralization of high-grade iron ores of Singhbhum basin (India).**

**Summary.** Deposits of Pre-Cambrian banded iron formation are major raw material base for iron and steel industry enterprises of most industrially developed countries. Deposits of Achaean and Prote-



rozoic banded iron formation in the states Bihar, Orissa, Madhya-Pradesh, Goa, Kranataka, Tamil Nadu, Andhra Pradesh are of the biggest economic interest in India. More than 80% of total reserves of all iron ores in India are concentrated in the first five states. Mineralogical studies of the ores have been conducted by the author in the Scientific-Research Center of the Ministry of Iron and Steel Industry of India (the city of Ranchi, Bihar state) and in the Scientific-Research and Design Institute "Mechanobrchromet" (the city of Kryvyi Rih).

Material from four ore samples of one of the deposits at Singhbhum iron ore region located at the boundary between Bihar and Orissa states were studied the most carefully. Samples 1, 2, 3, 4 were taken out of contact zone between schistose and ferruginous horizons. All samples material was loose, friable, content in firm particles of colloform goethite having size more than 5 mm was insignificant. Content in kaolinite-dispersed hematite components decreased and in micaceous hematite-martite components increased from the samples 1 to 4, it was accompanied by increase in iron content from 52.8 to 61.8 mas.%. Content of iron in magnetite was very low – 0.2-0.3 mas.%.

Material of studied samples was of simple mineral composition. Major ore minerals were represented by several morphological and genetic varieties of hematite and by iron hydroxide; magnetite was of secondary significance. Non ore minerals were mainly represented by kaolinite and, in minor quantity, by aluminium hydroxide as well as by iron containing carbonates and relict silicates (0.3-0.5 mass.% in total). Apatite made up 0.4-0.5 mass.%.

Similar mineral composition was typical for all the samples material, but their quantitative ratio was different. Hematite content (martite mainly) increased with Fe total content in ores from 47.3 up to 61.7 mass.%. Aluminous minerals content was high: kaolinite (from 3.8% to 14.1%) and aluminium hydroxides (2.6-3.3 mass.%). All the samples had low quartz content: from 0.14% for the richest sample to 2.50 mass.% in the poorest sample material.

It was determined that all samples ores were initially characterized by layered structure due to thin intercalations (0.05 to 2-3 mm thickness) of various mineral composition and structure. Dissolution of non-ore minerals and alteration of iron bearing minerals contributed to significant increase in porosity and some deformation of ore layerage. Later, with hypergene mineral formation (hematite, iron hydroxides and aluminium hydroxides), epigenetic structures, primarily, cementing, were formed in ore pores, cavities and fissures.

Martite is the most abundant initial ore mineral. Micaceous hematite of the first generation, dispersed hematite, kaolinite and relict minerals of initial ferruginous rocks such as magnetite and quartz are of secondary significance. Epigenetic minerals filling ores cavities are represented by micaceous hematite of the secondary generation, colloform hematite, iron hydroxides (goethite, more seldom dispersed goethite, lepidocrocite), aluminium hydroxides (hydrargillite, more seldom boehmite and diaspore), carbonate that is close to magnesite in content.

Mineralogical and technological studies resulted in defining methods and main parameters for ores beneficiation technology. Concentrates having iron total content of 66.5-66.8 mass.%, iron in hydroxides content of 2.5-10.1 mass.% and ignition losses of 1.5-5.9 mass.% were obtained by gravity-magnetic separation.

**Key words:** banded iron formation, India, Singhbhum iron ore basin, high grade iron ores, mineralogy, ore beneficiation.

Надійшла до редакції 6 лютого 2014 р.  
Представив до публікації доц. Є.В.Свєтхов.