

UDC 549 : 553.31 (477.63)

**Bespoyasko E.O., Melnykova M.M., Evtekhov V.D., Evtekhov E.V., Bespoyasko T.V.**

## **PECULIARITIES OF HIGH GRADE HEMATITE ORES MINERAL COMPOSITION OF INGULETSKE DEPOSIT LOST RESERVES (KRYVYI RIH BASIN)**

*Results of studies of mineralogical and chemical composition of high grade “Ingulets type” iron ores lost when mining using underground method, stripped at the faces of northern edge of the Ingulets Iron Ore Mining and Dressing Works were given. Further directions of their researches were suggested.*

Ingulets deposit of iron ores is a raw material base for Ingulets Iron Ore Mining and Dressing Works (InGZK) which extracts low grade magnetite ores (magnetite quartzites) applying open-pit method, produces iron ore (magnetite) concentrate from them. The deposit refers to Lykhanivskiy iron ore region of Kryvbas located in extreme southern part of the basin. Tectonically the deposit coincides with the area of Lykhanivska syncline closing.

Before the beginning of 90-s of XX-th century apart from magnetite quartzites the Works mined by underground methods high grade iron ores with iron content of more than 46 mas.% reserves of which previous researchers [1-3] classified as so called “ingulets type ores”. Lenticular tabular shape, clear confinedness to the zones of the fifth and sixth ferruginous horizons of the Saksagan suite and metaclastolite rock mass (schists of various composition having sandstone bands) of the Gdantsivska suite are typical for them. Thickness of ore reserves makes up from 1-2 to 50-60 m; occurrence depth in northern part of Ingulets deposit reaches 2000 m. Ores were extracted by underground methods up to 1000 m, ore fields of the mines bordered proximately from the north the ore field of the present InGZK ore field.

In recent years mining workings of northern edge of the open-pit have started to expand to the

zone of the mines ore fields. In the consequence mined workings and high grade ores lost at their extraction were exposed at the upper horizons of former mines. It resulted in conducting studies to determine possibilities of mining high grade ore reserves and getting high grade iron ore concentrate from them. The theme of the studies is to define their mineral and chemical composition.

High grade ores opened by faces have purely hematite composition. They are product of weathering of primary high grade magnetite ores, major ore forming and accessory minerals of them were magnetite, quartz, specularite, ferruginous (cumingtonite, iron talc (minnesotaite), magnesioriebeckite, aegirine and others), alumina-ferriferous (biotite, chlorite, almandine, celadonite, stilpnomelane, albite and others) silicates as well as ferriferous (siderite, sideroplesite, pistomessite, ferrodolomite) and iron free (calcite, dolomite) carbonates. Throughout the process of primary ores weathering quartz and specularite were quite resistant to the hypergenous factors influence and were not subjects of changes. Magnetite was transplated with martite, at partial replacement in the central zones of martite aggregates small xenomorphic relict inclusions of magnetite remained. Ferriferous silicates and carbonates were replaced by dispersed hematite and quartz (chalcedony, opal) aggregate; alumina-ferriferous silicates were

replaced by dispersed hematite, kaolinite and quartz (chalcedony, opal) aggregates. Iron free carbonates were subjected to full resorption. Thus, hypergenous changes of high grade magnetite ores were directed to simplification of their mineral composition, to impoverishment of their mineralogical variability.

Subsequent weakening of hypergenous factors influence on primary magnetite ores with depth resulted in formation of typical for high grade ores of Ingulets deposit clear downward mineralogical zoning. At the depth of more than 700-1000 m ores have substantially magnetite (silicate-carbonate-magnetite, magnetite, specularite-magnetite) composition. Higher in the section ores get hematite-magnetite, then magnetite-hematite composition, after that they have substantially hematite (dispersed hematite-martite, martite, specularite-martite) composition. Among substantially hematite ores intensively disintegrated varieties are quite abundant – so called martite, specularite-martite loose rock (“rustle”). At the upper hypsometric horizons of ore reserves martite, specularite, dispersed hematite, partially quartz were metasomatically replaced with iron hydroxides (goethite, dispersed goethite, lepidocrocite) depending on intensity of hypergenous ore changes.

Thus, mineral composition of high grade hematite ores exposed by the open-pit was determined by composition of primary high grade magnetite ores and intensity of their hypergenous changes. It explains presence of numerous ore mineral varieties in ore bodies, the most abundant being goethite-martite-specularite, goethite-specularite-martite, goethite-martite, goethite-dispersed hematite-martite, goethite-martite-dispersed hematite, martite-kaolinite-goethite-dispersed hematite, martite-specularite, specularite-martite, martite, dispersed hematite-martite, martite-dispersed hematite, martite-kaolinite-dispersed hematite e.a.

Table 1 offers average mineral composition of high grade hematite ores reserves of which are being exposed currently in the open-pit faces. As it can be seen, hematite (77.14 mas.%) and minerals of quartz group (15.99 mas.%) are major ore forming minerals. The former is represented by martite and specularite, in minor quantity by dis-

persed hematite. As mentioned above, martite aggregates occasionally contain relict inclusions of magnetite; their quantity increases downwards, average magnetite content makes up 2.78 mas.%.

Quartz is a major non ore mineral, its average content in ores makes up 15.83 mas.%. Ore forming process was accompanied by SiO<sub>2</sub> dissolving which normally started along contacts of quartz individuals. This often caused marshallit formation and, consequently, low mechanical hardness of ores, and at the level of upper hypsometric horizons of the deposit exposed by open-pit faces it caused hematite ores friability. Content of other minerals in ores is negligible.

Mineral composition of hematite ores is closely connected with their chemical composition. Average iron quantity (Fe<sub>tot.</sub>) is 53.85 mas.% after the data of 25 determinations (ranges from 46.15 to 65.79 mas.%). Iron content in magnetite is 1.76 mas.% (ranges from 0.05 to 4.61 mas.%) and in silicates and carbonates it makes up 0.43 mas.% (ranges from 0.21 to 0.94 mas.%) and is negligible. Iron, which is main chemical ore component, associated with martite, specularite, iron hydroxides (Fe<sub>mart.+hem.+hydr.</sub>): its content ranges from 45.78 to 65.32, in average makes up 51.66 mas.%.

After the operational expertise of acting Kryvbass open-pits, selective mining of high grade ores from lost reserves is accompanied by admixture of hosted hematite quartzites of the fifth and sixth ferruginous horizons, by mined ore mass dilution. It is expected that iron content in mined ore material will not exceed 50-51 mas.%. It is 5-7 mas.% lower than iron content in amenable sinter iron ores and 15-17 mas.% lower than corresponding iron ore concentrate ratio.

Preliminary design calculations and working experience of a range of mining and beneficiation companies testify the high economical efficiency of selective mining high grade iron ore under the conditions of introducing efficient technology for producing high grade useful final products that are sinter ore or iron ore (hematite) concentrate from mined ore mass.

Table 1.

**Average mineral composition of high hematite ores of lost reserves**

Minerals and mineral varieties	Mineral content, mas.%
hematite,	77,14
including:	
<i>martite</i>	62,59
<i>specularite</i>	12,21
<i>dispersed hematite</i>	2,34
magnetite	2,78
iron hydroxides,	2,31
including:	
<i>goethite</i>	1,91
<i>dispersed goethite</i>	0,29
<i>lepidocrocite</i>	0,11
quartz group minerals,	15,99
including:	
<i>quartz</i>	15,83
<i>chalcedony</i>	0,12
<i>opal</i>	0,04
silicates,	0,96
including:	
<i>relict silicates (hypergenically changed cummingtonite, biotite, chlorite, ferriferous talc, garnet, celadonite, magnesioriebeckite, aegirine and others)</i>	0,32
<i>newly formed (hypergenous) silicates (kaolinite, montmorillonite, beidellite, hydrobiotite and others) – estimated data</i>	0,64
carbonates,	0,32
including:	
<i>relict carbonates (siderite, sideroplesite and others)</i>	0,07
<i>hypergenous iron free or low-iron carbonates (calcite, aragonite, dolomite, ferrodolomite, khantite and others)</i>	0,25
sulphides,	0,11
including:	
<i>relict sulphides (pyrite, pyrrhotine and others)</i>	0,02
<i>hypergenous sulphides (marcasite, melnikovite and others)</i>	0,09
apatite	0,04
other minerals (zircon, tourmaline, gypsum, jarosite, copiapite and others)	0,35
<b>Total</b>	<b>100,00</b>
<b>Determinations quantity</b>	<b>34</b>

**Conclusions**

1. Lost reserves of high grade iron ores of Ingulets deposit are unmined end fragments of ore bodies of contact zone between Saksaganska and Glantsivska suites. They have been increasingly exposed by northern edge of the Ingulets GZK open-pit recently.

2. Vertical mineralogical zoning is typical for the reserves. Their upper parts are represented by a thin (up to 15-30 m) zone of goethite-hematite ores. Downwards hematite zone occurs, lower there are magnetite-hematite and hematite-

magnetite zones. Ores of the last-mentioned one grade subsequently to hypergenous way unchanged magnetite (silicate-carbonate-magnetite, magnetite, specularite-magnetite) ores at the depth of 700-1000 m.

3. High grade ores exposed in the open-pit are mainly composed by hematite (77.14 mas.%) and quartz (15.99 mas.%). Hematite is mostly represented by martite as well as by specularite and dispersed hematite. Quantity of secondary minerals (goethite, relict magnetite, relict and newly

created silicates and carbonates) is negligible, about 7 mas.% overall.

4. Average iron content in exposed by open-pit ores is 53.85 mas.%, including 51.66 mas.% of iron contained by hematite and iron hydroxides, 1.76 mas.% of iron contained by magnetite, 0.43 mas.% by silicates and carbonates.

5. High grade iron ores from lost reserves do not meet the requirements of metallurgical enterprises in terms of iron content. But the use of mineralogically optimized beneficiation technology high quality sinter ore or saleable iron ore (hematite) concentrate can be produced from them.

## REFERENCES

1. *Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др.* Геология криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1962.– Т. 1.– 484 с.
2. *Гершойг Ю.Г.* Зона окисления богатых железных руд ингулецкого типа в Криворожском бассейне // *Кора выветривания.*– 1960.– №3.– С. 190-202.
3. *Дорфман Я.З.* Зональность и генезис железорудных залежей ингулецкого типа в Криворожском бассейне и закономерности изменения качества руд с глубиной / Автореф. канд. дис. // Днепропетровск, 1970.– 18 с.

**БЕСПОЯСКО Е.О., МЕЛЬНИКОВА М.М., ЄВТЕХОВ В.Д., ЄВТЕХОВ Є.В., БЕСПОЯСКО Т.В.** Особливості мінерального складу багатих гематитових руд втрачених покладів Інгулецького родовища (Криворізький басейн).

*Резюме.* Втрачені поклади багатих залізних руд так званого «інгулецького типу» розкриті на верхніх гіпсометричних горизонтах ведення гірничих робіт у кар'єрі Інгулецького гірничозбагачувального комбінату. Їх дослідження має метою за мінералогічними й хімічними даними визначити можливість виробництва з втрачених багатих руд високоякісної залізорудної сировини. Рудоутворювальними мінералами руд, розкритих у забоях кар'єру, є кварц (середній вміст 15,99 мас.%) і гематит (77,14 мас.%), представлений мартитом, залізною слюдою і дисперсним гематитом. Вміст інших мінералів (гідроксидів заліза, реліктового магнетиту, реліктових і новоутворених силікатів і карбонатів) незначний, загалом – близько 7 мас.%. Середній вміст заліза у складі руд становить 53,85 мас.% (коливання від 46,15 до 65,79 мас.%). Для одержання кондиційної аглоруди або високоякісного гематитового концентрату слід розробити мінералогічно й економічно збалансовану технологію збагачення рудної маси.

**Ключові слова:** залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, багаті залізні руди, мінеральний склад руд, хімічний склад руд.

**БЕСПОЯСКО Э.А., МЕЛЬНИКОВА М.М., ЕВТЕХОВ В.Д., ЕВТЕХОВ Е.В., БЕСПОЯСКО Т.В.** Особенности минерального состава богатых гематитовых руд утерянных залежей Ингулецкого месторождения (Криворожский бассейн).

*Резюме.* Ингулецкое месторождение железных руд является сырьевой базой Ингулецкого горнообогатительного комбината (ИнГОКа), который открытым способом добывает бедные магнетитовые руды (магнетитовые кварциты), производит из них железорудный (магнетитовый) концентрат. До начала 90-х годов XX ст. комбинат кроме магнетитовых кварцитов подземным способом добывал также железные руды с содержанием железа более 46 мас.%. Для их залежей характерна линзовидная, пластовая форма, мощность от 1-2 до 50-60 м. Глубина распространения рудных тел. в северной части месторождения достигает 2000 м. До глубины около 1000 м руды отработаны шахтами, рудные поля которых непосредственно с севера прилегают к рудному полю современного карьера ИнГОКа. На протяжении последних лет северный борт карьера начал постепенно захватывать рудное поле шахт. Вследствие этого на

верхних горизонтах ведения горных работ были вскрыты отработанные шахтные выработки и утраченные залежи богатых железных руд. З этим связано проведение исследований, направленных на оценку возможности разработки утерянных залежей руд, определения возможности производства из них высококачественного железорудного сырья. Основой этих исследований является установление их минерального и химического состава.

Руды, тела которых вскрыты забоями карьера, имеют существенно гематитовый состав. Они являются продуктом выветривания первичных богатых магнетитовых руд, основными рудообразующими и второстепенными минералами которых были магнетит, кварц, гематит (железная слюдка), железистые (куммингтонит, железистый тальк (миннесотаит), магнезиорибекит, эгирин и др.), глинозем-железистые (биотит, хлорит, альмандин, селадонит, стильпномелан, альбит и др.) силикаты, а также железистые (сидерит, сидероплезит, пистомезит, ферродоломит) и безжелезистые (кальцит, доломит) карбонаты. В процессе выветривания первичных руд кварц и железная слюдка были относительно устойчивыми; магнетит замещался гематитом (мартитом); железистые силикаты и карбонаты замещались агрегатом дисперсного гематита и кварца (халцедона, опала); глинозем-железистые силикаты – агрегатом дисперсного гематита, каолинита и кварца (халцедона, опала). Безжелезистые карбонаты полностью растворялись. Таким образом, гипергенные изменения богатых магнетитовых руд были направлены на упрощение их минерального состава, уменьшение их минералогического разнообразия.

Вследствие постепенного ослабления с глубиной действия гипергенных факторов, сформировалась вертикальная минералогическая зональность залежей богатых руд. На глубине более 700-1000 м они имеют существенно магнетитовый (силикат-карбонат-магнетитовый, магнетитовый, железнослюдко-магнетитовый) состав. Выше по разрезу руды приобретают гематит-магнетитовый, затем магнетит-гематитовый, еще выше – существенно гематитовый (дисперсногематит-мартитовый, мартитовый, железнослюдко-мартитовый) состав. На уровне верхних гипсометрических горизонтов рудных залежей вследствие интенсивных гипергенных изменений руд происходило замещение мартита, железной слюдки, дисперсного гематита, частично кварца – гидроксидами железа (гетитом, дисперсным гетитом, лепидокрокитом).

По результатам изучения материала 34 проб богатых руд, вскрытых в забоях карьера, их средний минеральный состав следующий (мас.%): гематит 77,14 (в том числе мартит 62,59, железная слюдка 12,21, дисперсный гематит 2,34); магнетит 2,78; гидроксиды железа 2,31 (в том числе гетит 1,91, лепидокрокит 0,29, дисперсный гетит 0,11); минералы группы кварца 15,99 (в том числе кварц 15,83, халцедон 0,12, опал 0,04); силикаты 0,96 (в том числе реликтовые (гипергенно измененные куммингтонит, биотит, хлорит, железистый тальк, гранат, селадонит, магнезиорибекит, эгирин и др.) 0,32 и новообразованные гипергенные (каолинит, монтмориллонит, бейделлит, гидробиотит и др. – расчетные данные) 0,64); карбонаты 0,32 (в том числе реликтовые железистые (сидерит, сидероплезит, пистомезит и др.) 0,07 и новообразованные гипергенные безжелезистые или низкожелезистые (кальцит, арагонит, доломит, ферродоломит, хантит и др.) 0,32); сульфиды 0,11 (в том числе реликтовые (пирит, пирротин, халькопирит и др.) 0,02 и новообразованные гипергенные (марказит, мельниковит и др.) 0,09); апатит 0,04; другие минералы (циркон, турмалин, сфен, гипс, ярозит, копиаптит и др.) 0,35.

На уровне верхних гипсометрических горизонтов рудных тел. (до глубины ведения горных работ -100 м) кварц маршалитизирован, что обуславливает низкую механическую устойчивость руд.

Среднее содержание железа в составе руд, по данным 25 определений, 53,85 мас.% (колебания от 46,15 до 65,79 мас.%), в том числе железа, входящего в состав магнетита 1,76 мас.% (колебания от 0,05 до 4,61 мас.%); силикатов и карбонатов – 0,43 мас.% (от 0,21 до 0,94 мас.%). Основной химический компонент руд – железо, входящее в состав гематита и гидрок-

сидов железа: его содержание изменяется от 45,78 до 65,32, в среднем составляет 51,66 мас. %.

*Предварительные проектные расчеты и опыт работы горнодобывающих и обогащательных предприятий Криворожского бассейна свидетельствуют о высокой экономической эффективности селективной добычи богатых железных руд утраченных залежей при условии внедрения оптимальной технологии производства из добытой рудной массы высококачественных полезных конечных продуктов – агломерационной руды или железорудного (гематитового) концентрата.*

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, богатые железные руды, минеральный состав руд, химический состав руд.

**BESPOYASKO E.O., MELNYKOVA M.M., EVTEKHOV V.D., EVTEKHOV E.V., BESPOYASKO T.V. Peculiarities of high grade hematite ores mineral composition of Inguletske deposit lost reserves (Kryvyi Rih basin).**

*Summary. Lost reserves of so called “ingulets type” high grade iron ores were exposed at upper hypsometric horizons when mining at Ingulets Iron Ore Mining and Dressing Works. Ores studies are aimed at determining the possibility of producing high quality iron ore raw material from lost high grade ores using mineralogical and chemical data. Quartz (15.99 mas.% average content) and hematite (77.4 mas.%) represented by martite, specularite and dispersed hematite are major ore forming minerals of exposed in open-pit faces ores. Other minerals (iron hydroxides, relict magnetite, relict and newly formed silicates and carbonates) content is negligible, approximately 7 mas.% in total. Average content of iron in ores is 53.85 mas.% (it ranges from 46.15 to 65.79 mas.%). To obtain amenable sinter ore or high quality iron ore concentrate mineralogically and economically balanced technology for ore mass beneficiation should be developed.*

**Key words:** banded iron formation, Kryvyi Rih basin, high grade iron ores, mineralogical composition of ores, chemical composition of ores.

*The article was received by editorials 10 may 2012.  
It was recommended for publishing by professor A.I.Katalenets.*