

УДК 553.31 : 553.25 (477.63)

Евтехов Е.В., Беспояско Э.А., Евтехов В.Д.

## **Геология коры выветривания железорудной толщи Ингулецкого месторождения (Криворожский бассейн)**

*Приведены результаты изучения геологической позиции и мощности коры выветривания железистых и сланцевых горизонтов саксаганской свиты Ингулецкого месторождения. Показано, что мощность зоны гипергенных изменений железистых пород нижней части разреза свиты (от первого сланцевого до пятого сланцевого горизонтов) существенно меньше аналогичного показателя пород верхней части разреза (пятый, шестой железистые и шестой сланцевый горизонты). Отмечена тенденция к увеличению мощности коры выветривания пород всех горизонтов в направлении с юга на север.*

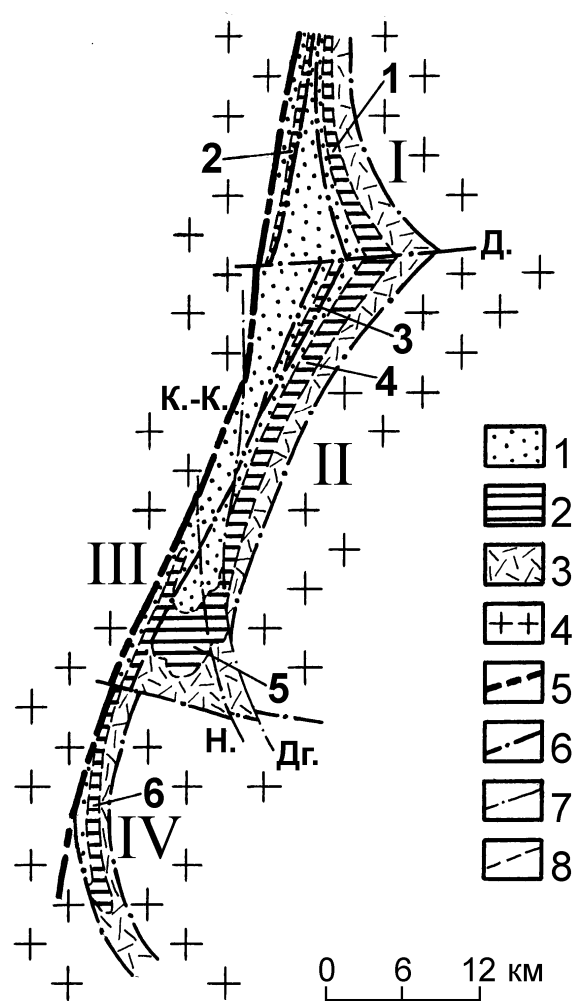
Ингулецкое месторождение относится к Лихмановскому (Ингулецкому) железорудному району, занимающему крайнюю южную позицию в составе Криворожского бассейна. На севере он по серии субширотных разломов граничит с Южным железорудным районом Кривбасса (рис. 1). Продуктивной толщей района является Лихмановская железорудная полоса, в южной части которой в зоне замыкания Лихмановской синклинали расположено Ингулецкое месторождение магнетитовых кварцитов. К северу от него вдоль всего простирания Лихмановской полосы протянулась цепочка относительно мелких месторождений богатых и бедных гематитовых и магнетитовых руд. Большинство месторождений богатых руд отработано карьерами и шахтами.

Месторождение разрабатывается Ингулецким горнообогатительным комбинатом (ИнГОКом) – одним из крупнейших предприятий по добыче и обогащению бедных магнетитовых руд. Общая длина Ингулецкого месторождения 5,3 км, ширина – от 0,5 до 1,3 км [1, 4-6, 16, 17].

Одной из характерных черт геологического строения месторождения является погружение шарнира Лихмановской синклинали и в ее составе продуктивной толщи месторождения в северном направлении. В этом же направлении на протяжении всех 50 лет эксплуатации месторождения происходит развитие карьера ИнГОКа.

В состав продуктивной толщи месторождения входят 5 железистых горизонтов (от второго до шестого) саксаганской свиты, которые в разрезе свиты чередуются с 4 (от третьего до шестого) сланцевыми горизонтами (рис. 2).

В верхних частях разрезов всех стратиграфических горизонтов проявлены гипергенные изменения железистых кварцитов и сланцев. Выветривание является геологическим процессом, который завершает формирование современного строения и состава железорудной толщи месторождения.



**Рис. 1.** Схема расположения Ингулецкого месторождения в пределах Криворожского железорудного бассейна (заимствовано из работы А.В.Евтеховой [12]).

1 – метакластолиты и доломитовые мраморы глееватской и гданцевской свит; 2 – железистые кварциты и сланцы саксаганской свиты; 3 – метаультрабазиты, метакластолиты, метабазиты скелеватской и новокриворожской свиты; 4 – гранитоиды днепропетровского и саксаганского комплексов; 5 – Криворожско-Кременчугский глубинный (мантийный) разлом (К.-К.); 6 – разломы корово-мантийные (Д. – Девладовский); 7 – разломы коровые (Дг. – Диагональный, Н. – Новокриворожский); 8 – линии стратиграфических контактов.

Железорудные районы: I – Северный (Анновский); II – Центральный (Саксаганский); III – Южный; IV – Ингулецкий (Лихмановский).

Железорудные полосы: 1 – Восточно-Анновская; 2 – Западно-Анновская; 3 – Саксаганская; 4 – Дальние Западные полосы; 5 – участок замыкания Криворожского синклиория; 6 – Лихмановская.

По результатам предыдущих исследований можно выделить следующие основные этапы гипергенных изменений пород в пределах региона [1, 4, 6, 7-9, 13, 14]:

– в период между формированием средне-, позднеархейских и раннепротерозойских гранитоидов и началом накопления раннепротерозойской толщи базальтоидов и кластолитов новокриворожской свиты криворожской серии;

– на протяжении раннепротерозойского перерыва между осаждением саксаганской и гданцевской свит;

– в течение протерозой-палеозой-мезозойского перерыва в осадконакоплении;

– во время неоген-антропогенного континентального этапа развития региона.

Образование коры выветривания железорудной толщи месторождения связано с двумя последними этапами гипергенеза.

Кора выветривания железистых горизонтов представлена мартит-железнослюдковыми, железнослюдко-мартитовыми, мартитовыми, дисперсногематит-мартитовыми и мартит-дисперсногематитовыми кварцитами. Общее содержание железа в составе гематитовых кварцитов в среднем около 35 мас.%, что близко к соответствующему показателю магнетитовых кварцитов. Это свидетельствует о слабой подвижности железа в процессе выветривания железистых пород.

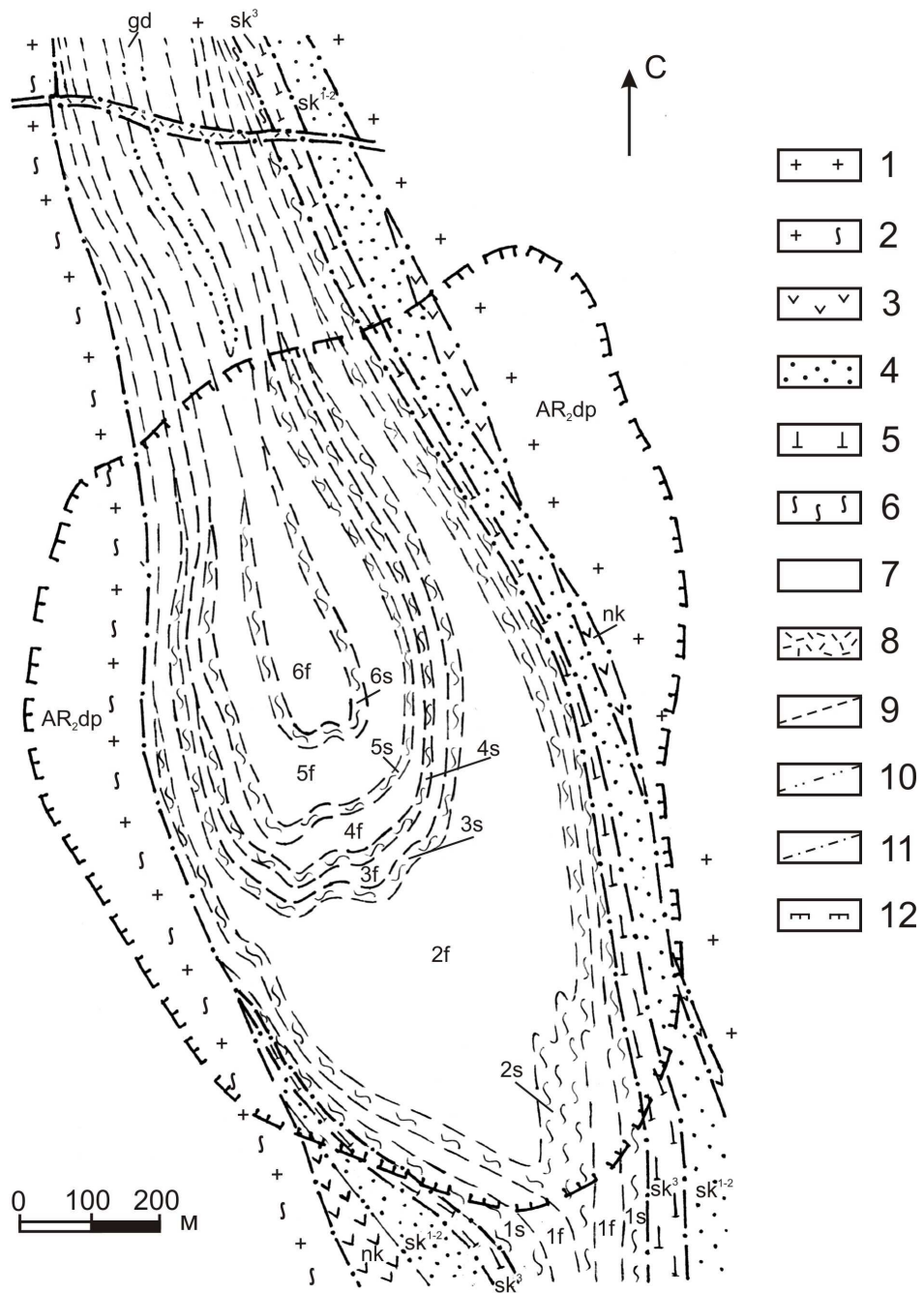
Кора выветривания сланцевых горизонтов сложена мартит-кварц-дисперсногематитовыми, кварц-дисперсногематитовыми, каолинит-кварц-дисперсногематитовыми сланцами.

В верхних зонах коры выветривания как железистых, так и сланцевых горизонтов порообразующими минералами являются также гетит и дисперсный гетит, в нижних – реликтовые магнетит и силикаты (куммингтонит, хлорит, биотит, альмандин и др.).

Основным полезным ископаемым Ингулецкого месторождения являются бедные магнетитовые руды (магнетитовые кварциты), из которых с использованием технологии «мокрой» магнитной сепарации производят железорудный концентрат. Но на протяжении последних 10 лет активно изучается возможность использования бедных гематитовых руд (гематитовых кварцитов) в качестве сырья для производства гематитового концентрата. Максимальная мощность коры выветривания пород пятого и шестого железистых горизонтов обусловила выбор их в качестве основной минерально-сырьевой базы для производства гематитового концентрата.

Целью настоящей работы было уточнение существующих представлений о локализации и строении коры выветривания железистых пород, выявление закономерностей изменчивости ее мощности.

Авторами при участии сотрудников ИнГОКа и Криворожского технического университета были обобщены и проанализированы литературные данные о геологии месторождения, а также имеющиеся в фондах геологической службы Игулецкого ГОКа результаты геологических наблюдений, минералогических и химических исследований руд и железистых пород.



**Рис. 2.** Схематическая геологическая карта Ингулецкого месторождения.

1 – граниты днепрпетровского комплекса; 2 – мигматиты днепрпетровского комплекса; 3 – амфиболиты и метакластолиты новокриворожской свиты; 4 – метакластолиты скелеватской свиты; 5 – тальк-содержащие сланцы скелеватской свиты; 6 – сланцы саксаганской свиты; 7 – железистые кварциты саксаганской свиты; 8 – диабазы; 9 – линии стратиграфически согласного залегания толщ; 10 – линии стратиграфически несогласного залегания толщ; 11 – разрывные нарушения; 12 – контуры карьера Ингулецкого горнообогатительного комбината.

AR<sub>2</sub>dp – днепрпетровский комплекс среднего архея; стратиграфические подразделения криворожской серии (нижний протерозой, PR<sub>1</sub>kr); nk – новокриворожская свита PR<sub>1</sub>nk; sk<sup>1-2</sup> –

*нижняя и средняя подсвиты скелеватской свиты  $PR_1sk^{1-2}$  (объединенная толща «аркозового» и «филлитового» горизонтов);  $sk^3$  – верхняя подсвита скелеватской свиты  $PR_1sk^3$  («тальковский» горизонт); горизонты саксаганской свиты  $PR_1sx$ :  $1s$  – первый сланцевый  $PR_1sx^{1s}$ ;  $1f$  – первый железистый  $PR_1sx^{1f}$ ;  $2s$  – второй сланцевый  $PR_1sx^{2s}$ ;  $2f$  – второй железистый  $PR_1sx^{2f}$ ;  $3s$  – третий сланцевый  $PR_1sx^{3s}$ ;  $3f$  – третий железистый  $PR_1sx^{3f}$ ;  $4s$  – четвертый сланцевый  $PR_1sx^{4s}$ ;  $4f$  – четвертый железистый  $PR_1sx^{4f}$ ;  $5s$  – пятый сланцевый  $PR_1sx^{5s}$ ;  $5f$  – пятый железистый  $PR_1sx^{5f}$ ;  $6s$  – шестой сланцевый  $PR_1sx^{6s}$ ;  $6f$  – шестой железистый  $PR_1sx^{6f}$ ;  $gd$  – гданцевская свита  $PR_1gd$ .*

Геологические исследования авторы проводили в забоях северного борта карьера ИнГОКа, в котором вскрыты пятый и шестой железистые горизонты. Фиксировались условия залегания пластов выветренных железистых кварцитов и сланцев, макроскопически определялся их минеральный состав, структура и текстура, устанавливался характер пространственных взаимоотношений пластов руд и пород разного минерального состава, проявления вертикальной и горизонтальной минералогической зональности залежи гематитовых кварцитов.

Были отобраны 106 проб в разной степени выветренных железистых кварцитов и сланцев. По результатам их минералогического и химического изучения уточнялись контакты стратиграфических горизонтов, особенности вертикальной и горизонтальной зональности их коры выветривания. Граница между корой выветривания и массивом невыветренных (или слабо выветренных) магнетитовых кварцитов проводилась по содержанию железа, входящего в состав магнетита, равному 14 мас.%. Этот показатель соответствует бортовому содержанию магнетитового железа в составе кондиционных магнетитовых руд ИнГОКа.

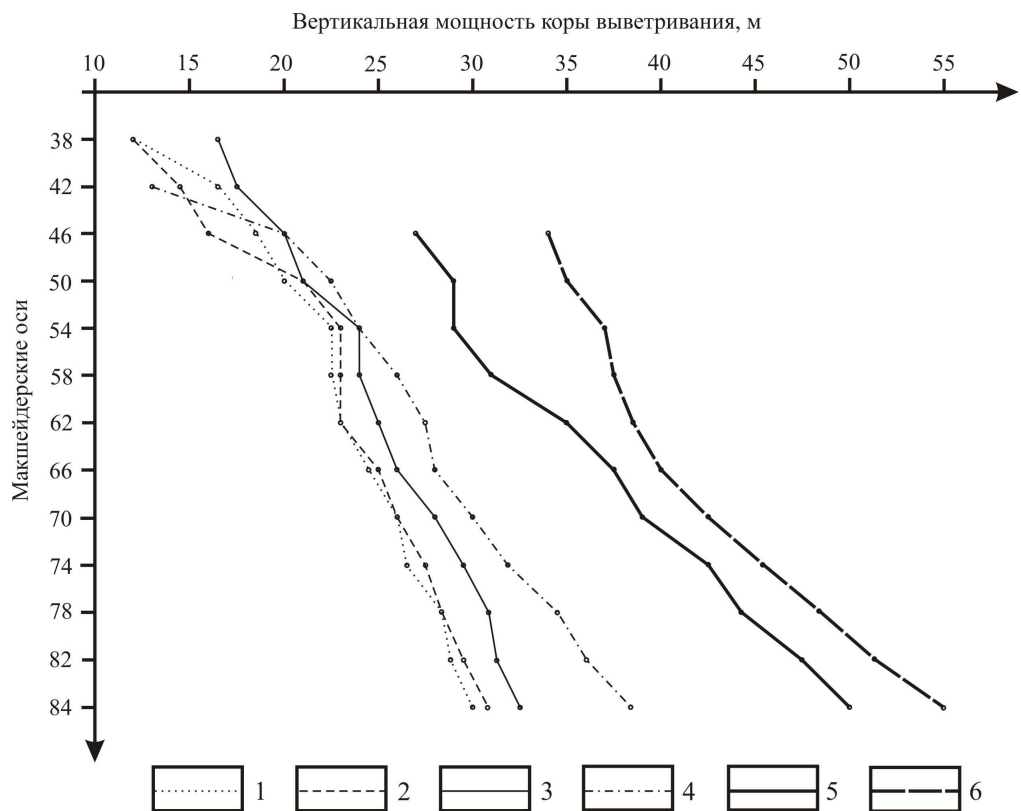
Результаты геологических и минералогических исследований позволили количественно оценить проявление двух основных закономерностей строения коры выветривания месторождения:

- более интенсивных гипергенных изменений пород железистых горизонтов по сравнению со сланцевыми;
- закономерного увеличения мощности коры выветривания всех стратиграфических горизонтов с юга на север – в направлении погружения шарнира Лихмановской синклинали.

Интенсивность выветривания железистых пород Кривбасса, в том числе Ингулецкого месторождения обусловлена, главным образом, их минеральным составом и степенью тектонической подготовки [1, 4, 6, 8-10, 13, 16]. Породы сланцевых горизонтов отличаются от пород железистых горизонтов меньшей хрупкостью, большей пластичностью, меньшей водопроницаемостью. Действие этих и некоторых других факторов обусловило относительно слабое влияние агентов выветривания на сланцы по сравнению с железистыми кварцитами и, как следствие, – меньшую вертикальную мощность коры выветривания пород сланцевых горизонтов (от 10-15 до 50-60 м) по сравнению с породами железистых горизонтов (от 10-20 до 300-500 м) (рис. 3, 4).

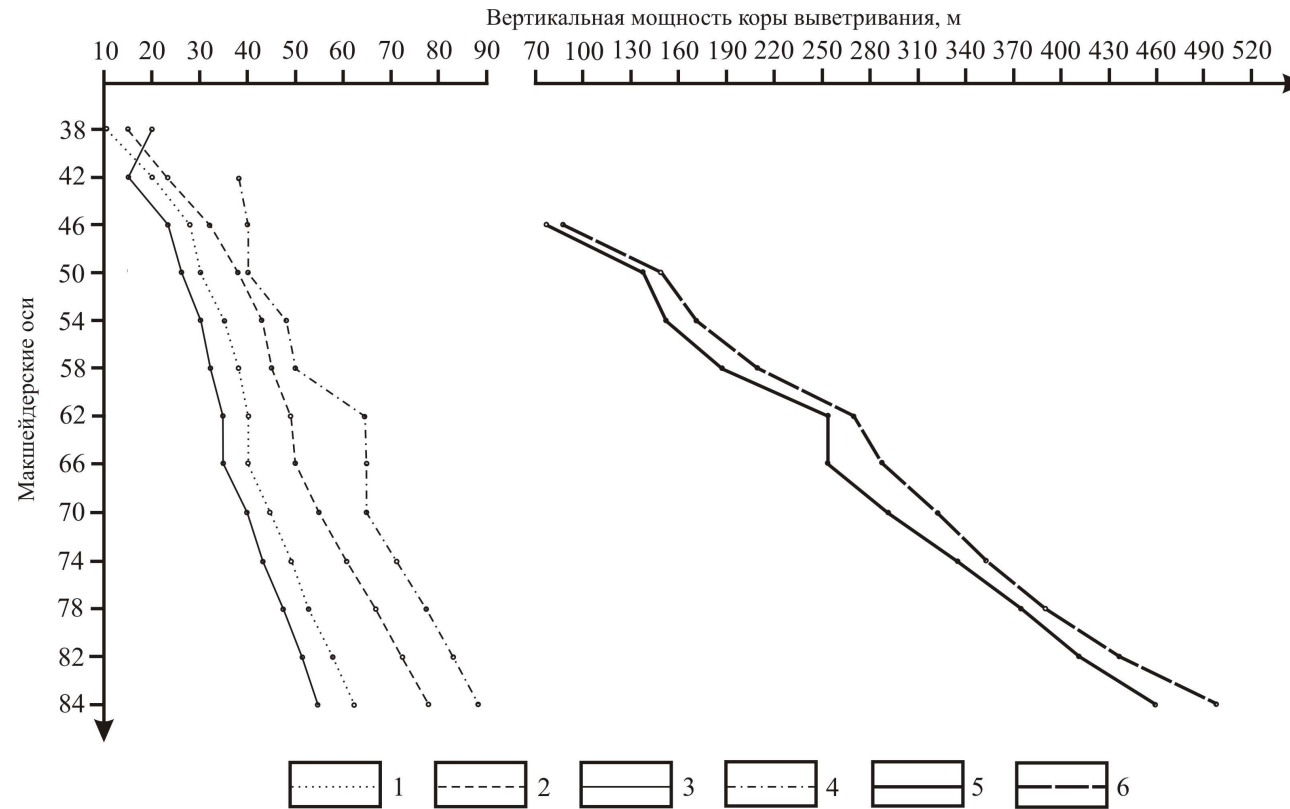
Полученные авторами данные количественно характеризуют тенденцию к увеличению вертикальной мощности коры выветривания пород сланцевых горизонтов в направлении юг → север (рис. 3). Это связано с изменением в отмеченном направлении ряда геологоструктурных особенностей месторождения: погружением шарнира Лихмановской синклинали, повышением степени трещиноватости горных пород, уменьшением объема сланцевых горизонтов в составе саксаганской свиты и др.

Из рис. 3 также видно, что в центральной части месторождения (маркшейдерские оси 52-60), расположена зона относительной стабильности показателей вертикальной мощности коры выветривания пород сланцевых горизонтов. Общей тенденцией является увеличение вертикальной мощности коры выветривания от первого к шестому сланцевому горизонту. В южной части месторождения (маркшейдерские оси 42-46) отмечаются отклонения от этой закономерности для первого и четвертого сланцевых горизонтов.



**Рис. 3.** Изменение средних значений вертикальной мощности коры выветривания в разрезах сланцевых горизонтов саксаганской свиты в направлении от южного (маркшейдерская ось 38) к северному (ось 84) флангам месторождения.

Сланцевые горизонты: 1 – первый; 2 – второй; 3 – третий; 4 – четвертый; 5 – пятый; 6 – шестой.



**Рис. 4.** Изменение мощности коры выветривания в разрезах железистых горизонтов саксаганской свиты в направлении от южного (маркшейдерская ось 38) к северному (ось 84) флангам месторождения.

Железистые горизонты: 1 – первый; 2 – второй; 3 – третий; 4 – четвертый; 5 – пятый; 6 – шестой.

Вертикальная мощность коры выветривания пород сланцевых горизонтов связана с соответствующим показателем прилегающих железистых горизонтов. Например, повышенное значение этого показателя для пятого и шестого сланцевых горизонтов в определенной степени обусловлено тем, что они контактируют с пятым и шестым железистыми горизонтами, для которых характерны максимальные значения вертикальной мощности коры выветривания.

Вертикальная мощность коры выветривания железистых горизонтов в общем виде изменяется с закономерностью, близкой к сланцевым горизонтам (рис. 4). Отклонением от общей тенденции является пониженное значение этого показателя для третьего железистого горизонта. Это вызвано, вероятно, высоким содержанием силикатов в составе железистых кварцитов горизонта, его близостью по минералогическим и петрографическим показателям к сланцевым горизонтам месторождения.

Стабильность вертикальной мощности коры выветривания пород железистых горизонтов между маркшейдерскими осями 52-60 проявлена слабее, чем для сланцевых горизонтов.

Вертикальная мощность коры выветривания пород пятого и шестого железистых горизонтов намного больше соответствующего показателя других железистых горизонтов. В южной части месторождения (ось 46) это превышение приближается к двукратному, в северной части (ось 70 и далее) – к пяти-семикратному. По мнению авторов, это можно объяснить тем, что пятый и шестой железистые горизонты расположены в ядре Лихмановской синклинали, подвергавшемся максимальным тектоническим нагрузкам. Слагающие их пласты железистых кварцитов испытали наиболее интенсивные пликативные и дизъюнктивные дислокации, вследствие чего оба горизонта характеризуются более высокой трещиноватостью пород в сравнении с породами других стратиграфических горизонтов. Механическая нарушенность железистых кварцитов способствовала более глубокому проникновению в толщ этих горизонтов гипергенных растворов, более интенсивному развитию в их разрезах коры выветривания.

### **Выводы**

1. Ингулецкое месторождение бедных магнетитовых руд разрабатывает Ингулецкий горнообогатительный комбинат. Одной из уникальных особенностей месторождения является присутствие в составе его продуктивной толщи пяти железистых горизонтов саксаганской свиты. Для сравнения, продуктивная толща Южного ГОКа представлена одним железистым горизонтом, Новокриворожского ГОКа – тремя; Центрального ГОКа – тремя; Северного ГОКа – двумя.

2. В коре выветривания магнетитовые кварциты, слагающие железистые горизонты, преобразованы в гематитовые кварциты. Их качественные показатели (общее содержание железа, структурные и текстур-

ные параметры) близки по своим значениям к аналогичным показателям магнетитовых кварцитов. Это обстоятельство, а также возрастающие объемы извлечения гематитовых кварцитов из недр обусловили необходимость поиска путей использования гематитовых кварцитов в качестве железорудного сырья комбината.

3. Общей закономерностью является постепенное увеличение мощности коры выветривания железорудной толщи в направлении с юга на север, то есть в генеральном направлении развития карьера ИнГОКа. В связи с этим с каждым годом возрастает относительное содержание гематитовых кварцитов в общем объеме извлекаемой из карьера минеральной массы.

4. Мощность коры выветривания в разрезах железистых горизонтов заметно различается. Для первого, второго, третьего и четвертого железистых горизонтов этот показатель не превышает 80-90 м. Для пятого и шестого железистых горизонтов его значение изменяется от 70-100 м в южной части месторождения до 450-500 и более м в северной. С продвижением далее на север глубина развития коры выветривания железистых пород этих горизонтов увеличивается до 800-900 м. По этой причине основной сырьевой базой будущего производства гематитового концентрата является объединенная толща пятого и шестого железистого горизонтов.

В организации и проведении геологических маршрутов в карьере ИнГОКа, опробовании залежи гематитовых кварцитов, выполнении геологических и минералогических исследований авторам оказывали поддержку и непосредственную помощь сотрудники ИнГОКа А.В.Романенко, С.Н.Овчинников, Л.И.Овчинникова, Л.С.Варченко, О.А.Савюк и Криворожского технического университета Л.Н.Ковальчук, А.В.Евтехова, В.В.Филенко, С.В.Карпенко, Т.В.Зайченко. Всем им авторы выражают глубокую благодарность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Акименко Н.М., Белевцев Я.Н., Горошников Б.И. и др.** Геологическое строение и железные руды Криворожского бассейна // Москва: Госгеолтехиздат, 1957.– 280 с.
2. **Ахкозов Ю.Л.** Генезис минералов и геологические особенности железистых кварцитов Ингулецкого месторождения / Автореф. дис. канд. геол.-минерал. наук // Львов: Львовский госуниверситет, 1983.– 22 с.
3. **Ахкозов Ю.Л., Куповец В.А., Копертехин И.А.** Некоторые геолого-минералогические факторы, определяющие свойства руд Ингулецкого месторождения // Горный журнал.– 1982.– № 2.– С. 9-10.
4. **Белевцев Я.Н., Бура Г.Г., Дубинкина Р.П. и др.** Генезис железных руд Криворожского бассейна // Киев: Изд. АН УССР, 1959.– 308 с.
5. **Белевцев Я.Н., Вайло А.В., Ветренников В.В. и др.** Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Структуры месторождений и рудных районов // Киев: Наукова думка, 1989.– 156 с.
6. **Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В., Стрыгин А.И. и др.** Геология Криворожских железорудных месторождений // Киев: Наукова думка, 1962.– Т. 1.– 484 с.
7. **Гершойг Ю.Г.** Генетическая классификация железных руд Кривбасса // Геология рудных месторождений.– 1971.– №4.– С. 3-17.
8. **Додатко О.Д., Дорфман Я.З.** Про кори вивітряння порід залізисто-кременистої формації Криворіжжя // Доповіді АН УРСР. Серія Б.– 1973.– № 5.– С. 395-398.
9. **Додатко А.Д., Дорфман Я.З.** Линейная кора выветривания сланцев некоторых районов Кривбасса // Геологический журнал.– 1974.– № 5.– С. 137-145.

10. **Додатко А.Д.** *Послеархейские эпохи корообразования на территории Украинского щита // Доклады АН УССР. Серия Б.– 1979.– №2.– С. 83-87.*

11. **Євтехов В.Д.** *Етапи формування комплексної мінерально-сировинної бази залізорудних родовищ Криворізько-Кременчуцького лінеаменту // Відомості Академії гірничих наук України.– 1997.– №4.– С. 111-114.*

12. **Євтехова Г.В.** *Геологія альпійських утворень залізисто-кременистої формації Криворізького басейну / Автореферат дис. канд. геол. наук / Дніпропетровськ: Національний гірничий інститут, 2007.– 20 с.*

13. **Каниболоцкий П.М.** *Петрогенезис пород и руд Криворожского железорудного бассейна // Черновцы: Изд. АН УССР, 1946.– 312 с.*

14. **Кравченко В.М., Дорфман Я.З.** *Генезис железорудных залежей ингулецкого типа в Криворожском бассейне // Геологический журнал.– 1970.– №5.– С. 76-80.*

15. **Педан М.В.** *Геологическое строение, вещественный состав и технологические свойства железистых кварцитов Ингулецкого месторождения / Автореф. дисс. канд. геол.-минерал. наук // Воронеж: Воронежский университет, 1975.– 23 с.*

16. **Святальский Н.И., Фукс Э.К., Половинкина Ю.Ир. и др.** *Железорудное месторождение Кривого Рога // Москва-Ленинград: Госгеолиздат, 1932.– 284 с.*

17. **Семененко Н.П., Белевцев Я.Н., Тохтуев Г.В. и др.** *Структура рудных полей криворожских железорудных месторождений // Киев: Изд. АН УССР, 1953.– Т. 2.– 697 с.*

**ЄВТЕХОВ Є.В., БЕСПОЯСКО Е.О., ЄВТЕХОВ В.Д.** **Геологія кори вивітрювання залізорудної товщі Інгулецького родовища (Криворізький басейн).**

**РЕЗЮМЕ.** *Кора вивітрювання залізисто-кременистої формації Інгулецького родовища формувалась у декілька етапів від раннього протерозою до цього часу. Вивітрювання супроводжувалось заміщенням магнетитових кварцитів гематитовими кварцитами, а кварц-силікатних сланців – каолінит-кварц-дисперсногематитовими сланцями. Загальна закономірність полягає в поступовому збільшенні потужності кори вивітрювання в напрямку з півдні на північ, тобто в напрямку занурення шарніру Лихманівської синкліналі. Для сланцевих горизонтів цей показник зростає від 10-15 до 50-60 м, для залізистих горизонтів – від 10-20 до 300-500 м. Основні ресурси гематитових кварцитів зосереджені в п'ятому і шостому залізистих горизонтах саксаганської світи родовища.*

**Ключові слова:** *залізисто-кремениста формація; Криворізький басейн; кора вивітрювання.*

**ЕВТЕХОВ Е.В., БЕСПОЯСКО Э.А., ЕВТЕХОВ В.Д.** **Геология коры выветривания железорудной толщи Ингулецкого месторождения (Криворожский бассейн).**

**РЕЗЮМЕ.** *Кора выветривания железисто-кремнистой формации Ингулецкого месторождения формировалась в несколько этапов от раннего протерозоя до настоящего времени. Выветривание сопровождалось замещением магнетитовых кварцитов гематитовыми кварцитами, а кварц-силикатных сланцев – каолинит-кварц-дисперсногематитовыми сланцами. Общая закономерность состоит в постепенном увеличении мощности коры выветривания в направлении с юга на север, то есть в направлении погружения шарнира Лихмановской синклинали. Для сланцевых горизонтов этот показатель возрастает от 10-15 до 50-60 м, для железистых горизонтов – от 10-20 до 300-500 м. Основные ресурсы гематитовых кварцитов содержатся в пятом и шестом железистых горизонтах саксаганской свиты месторождения.*

**Ключевые слова:** *железисто-кремнистая формація; Криворожский бассейн; кора выветривания.*

**EVTEKHOV E.V., BESPOYASKO E.O., EVTEKHOV V. D.** **Geology of weathering crust of iron-ore bend of the Ingulets deposit (Kriviyy Rih basin).**

**SUMMARY.** *The weathering crust of banded iron formation of the Ingulets deposit has been forming in several stages from Early Proterozoic till now. Weathering was accompanied by the replacement of magnetite quartzites with hematite quartzites, and of quartz-silicate shists with kaolinit-quartz-dispersinohematite shists. The general regularity consists in gradual*

*increase in capacity of weathering crust in the direction from the south to the north in the direction of the lower band of Lihmanivska syncline plunge. For shist horizons this indicator increases from 10-15 to 50-60 m, for ferriferous horizons – from 10-20 to 300-500 m. Hematite quartzites basic resources are in the fifth and sixth ferriferous horizons of the Saksagan suite of deposit.*

**Keywords:** *banded iron formation; Kriviy Rih basin; crust of weathering.*

*Надійшла до редакції 24 грудня 2008 р.  
Представив до публікації проф. Б.І.Пирогов.*