

**ГОРНО-ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ
МЕСТОРОЖДЕНИЙ УКРАИНЫ**

Виконано гірничо-геометричний аналіз залізорудних родовищ у залізисто-кременистих формаціях Українського щита, розробка яких можлива відкритим способом.

**MINING-AND-GEOMETRICAL ANALYSIS OF ORE
DEPOSITS OF UKAINE**

Mining-and-geometrical analysis of ore deposits in the ore-and-flint formations of the Ukrainian board is made and the development of this deposits might be made by open-cut mining

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. Горно-геологические условия месторождений железистых кварцитов определяют необходимость удаления значительных объемов вскрышных пород. Для укладки в отвал вскрышных пород требуется отчуждение 1 га земель сельскохозяйственного назначения на каждые 400-600 тыс.куб.м вскрыши. Добываемые кварциты имеют невысокое содержание железа, процесс их переработки материалоемкий и энергоемкий; 3/5 от веса руды, поступившей на переработку, составляет пустая порода, которая в виде хвостов складывается в хвостохранилищах. Именно затраты на перерабатывающий комплекс в большинстве случаев контролируют величину себестоимости конечной продукции.

В то же время, за счет совершенствования технологии открытых горных работ и внедрения современного горно-транспортного оборудования при взвешенном подходе к приоритетам краткосрочной и долгосрочной перспектив развития горно-обогатительного комплекса, возможно, достичь разумного баланса между требованием обеспечения минимальной себестоимости разработки железистых кварцитов, полнотой отработки месторождения и обеспечением контролируемого уровня ущерба окружающей среде.

Криворожским техническим университетом выполняются работы по разработке ресурсосберегающих технологий отработки месторождений со сложными горно-геологическими условиями. Составной частью этих работ являются исследования по классификации, типизации и параметризации железорудных месторождений в докембрийских железисто-кременистых формациях Украинского щита.

В Украине разведано более 100 месторождений железистых кварцитов. Рассмотрение возможности отработки каждого конкретного месторождения является задачей предприятия, получившего лицензию на его отработку, и решается с привлечением проектных организаций. В то же время, оценку перспектив развития железорудной отрасли, определение тенденций совершенствования технологии открытых горных работ, уточнение запасов, возможных к отработке при той или иной технологии открытых горных работ, возможно, выполнить с использованием укрупненных параметрических моделей железорудных месторождений.

Анализ исследований и публикаций. Классификация, типизация и параметризация железорудных месторождений в докембрийских железисто-кремнистых формациях Украинского щита чрезвычайно актуальна, так как она позволяет выделять типы месторождений, обладающие сходными чертами. Но требования к такого вида классификациям различны с точки зрения разных специалистов. Как отмечал Гросс Г.А., "одна из трудностей в создании такой классификации заключается в различии интересов геолога-разведчика, горного инженера, металлурга и экономиста. Одна классификация не в состоянии удовлетворить все эти интересы" [1]. Известно, что геометрические размеры и условия залегания железорудных месторождений во многом определяют главные параметры карьера, его производственную мощность, систему разработки, схему вскрытия и основные технико-экономические показатели. В теории открытой разработки известно несколько примеров систематизации железорудных месторождений по горно-геологическим условиям с целью установления общих подходов к их разработке [2-6].

В зависимости от горнотехнических условий железорудных месторождений Украины предложено [4-5] выделить шесть типовых карьеров с длиной по поверхности от одного до шести километров и шириной от 300 до 800м. В работе [5] на базе предложенной классификации типовых месторождений были исследованы возможности сырьевой базы украинских горно-обогатительных комбинатов. Карьеры первого, третьего и шестого типов имеют округлую форму и разрабатывают синклинальные месторождения, карьеры второго, четвертого и пятого типов разрабатывают крутопадающие пластовые месторождения. Производительности типовых карьеров определены в зависимости от площади рудных тел. Такой подход к классификации железорудных месторождений и карьеров имеет ряд недостатков.

Во-первых, типовые карьеры отражают горно-геологические условия лучших украинских месторождений железистых кварцитов. В настоящее время в разработку вовлечено большинство уникальных и крупных железорудных месторождений и несколько средних по размерам месторождений. В будущем в разработку будут вовлекаться месторождения с более сложными горно-геологическими условиями.

Во-вторых, предложенной классификацией не предусмотрены карьеры, отрабатывающие антиклинальные месторождения. Ряд находящихся в эксплуатации и проектируемых железорудных карьеров разрабатывают месторождения антиклинальной формы.

В-третьих, классификация не дает ответ, насколько типовыми являются предложенные карьеры и месторождения для условий Украины. Знание того, какие типы месторождений и горно-геологические условия будут преобладающими в будущем, позволит оценить на перспективу значение добываемой промышленности для экономики Украины и направления развития теории и практики открытой разработки железорудных месторождений.

Постановка задачи. Целью работы является обобщение и анализ инфор-

мации о железорудных месторождениях в железисто-кремнистых формациях Украинского щита, разработка которых возможна открытым способом. Основная идея работы заключается в сборе, обобщении и классификации горно-геологической информации, необходимой для исследования влияния горно-геологических факторов на целесообразность и эффективность разработки открытым способом конкретных типов железорудных месторождений.

Изложение материала и результаты. В соответствии с морфологическим строением, месторождения разделялись на пластовые, синклинальные и антиклинальные. Выполненный анализ месторождений не претендует на абсолютную достоверность, доподлинно информация о строении месторождения становится известной после его отработки. Даже после длительного периода эксплуатации конкретных железорудных месторождений в среде геологов порой не существует единого мнения о морфологическом строении некоторых из них. При выполнении данной работы была обобщена и проанализирована информация большого числа открытых источников, которые не исчерпываются списком, приведенным в конце статьи [7-10]. В учет брались как месторождения неокисленных железистых кварцитов, так и месторождения, в основном представленные окисленными кварцитами. Также в выполненном анализе не учитывался характер застройки района расположения месторождения. Территория ряда крупных месторождений характеризуется плотной гражданской и промышленной застройкой, не позволяющей предположить их разработку в ближайшем будущем. Большинство месторождений расположено в районах с высокоинтенсивной сельскохозяйственной деятельностью, учет интересов которой оказывает огромное влияние на действующие горные предприятия и, вероятно, ограничит возможности по вовлечению в отработку новых месторождений.

В процессе сбора информации по железорудным месторождениям Украины было проанализировано 133 месторождения (в том числе: Криворожский железорудный район и Правобережные аномалии – 58, Кременчугский район – 27, Приднепровский – 11, Белозерско-Ореховский – 20, Одесско-Белоцерковский – 5, Приазовский – 12) [7-10]. Для дальнейшего изучения и обобщения параметров железорудных месторождений, перспективных с точки зрения открытой разработки, было отобрано 42 месторождения. Основным критерием отбора месторождений являлась мощность осадочного чехла (не более 100м).

Основным классификационным признаком является структура и морфологическое строение части рудной толщи в интервале глубин, доступных для открытой разработки (до 500-700м). Так, например, синклинальное месторождение с глубоким заложением шарнира и малой мощностью (10-20 м) одного из крыльев рассматривалось как пластовое месторождение. Для каждого месторождения уточнялись параметры, характеризующие его структуру с точки зрения возможности открытой разработки.

Ряд месторождений (Ореховское, Пролетарское, Краснофедоровское, Желтянское, Николаевское, Северо-Терсянское, Васиновское, Новоукраин-

ское, Куксунгурское, Корсакское) характеризуются очень сложным строением, не позволяющим их охарактеризовать как одно целое. Причем отдельные участки месторождений расположены друг от друга на значительном расстоянии, измеряемом сотнями метров, и это позволяет сделать вывод, что до определенного этапа разработки или даже до ее завершения эти рудные тела будут разрабатываться отдельными карьерами. Каждое из этих месторождений было разбито на отдельные участки и в дальнейшем данные участки рассматривались как отдельные продуктивные толщи.

Таким образом, на основе 42 железорудных месторождений было выделено 60 отдельных продуктивных толщ, которые были проанализированы и в дальнейшем рассматривались как отдельные месторождения. Суммарный запас железистых кварцитов в отобранных для анализа месторождениях составляет более 20 млрд.т.

При анализе масштабов месторождений в целом исходили из классов, определенных классификацией железорудной минерально-сырьевой базы СССР по размерам месторождений. В соответствии с этим, совокупность месторождений по запасам условно разделили на 6 классов. Уникальные месторождения характеризуем запасами руды более 3000 млн.т, весьма крупные (ВК) 1500-3000 млн.т, очень крупные (ОК) 750 -1500 млн.т, крупные (К) 350 – 750 млн.т, средние (С) 50-350 млн.т, мелкие (М) 5-50 млн.т.

Анализ собранной информации показывает, что 50 месторождений классифицируются с точки зрения открытой разработки как пластовые (П), 5 – как синклинальные (С) и 5 – как антиклинальные (А) месторождения.

На рис. 1-2 приведены распределения запасов и количества железорудных месторождений по классам крупности и морфологическому строению. С пластовыми месторождениями связано 82,5% запасов железистых кварцитов и 83,3% месторождений от общего их количества, с синклинальными месторождениями – 3,3% запасов и 8,3% месторождений, с антиклинальными – около 14% от балансовых запасов и 8,3% от числа месторождений. Таким образом, существующее мнение о преобладании среди железорудных месторождений пригодных для открытой разработки пластовых месторождений подтверждается. Сорок процентов запасов сосредоточены в очень крупных месторождениях, которые представляют 13% от общего количества месторождений. Далее следуют крупные и средние месторождения, представляющие соответственно 26,1 и 22,6 процента от запасов и 21,7 и 53,3 процента от количества месторождений. На долю малых месторождений приходится менее 1,5% от общих запасов и 10% общего количества. В свою очередь, на долю весьма крупных месторождений приходится 10,4% от запасов и 1,7% от количества месторождений.

Очень крупные пластовые месторождения представляют 30,3% от общих запасов, крупные – 22,0%, средние – 18,8%, весьма крупные пластовые месторождения – 10,4%.

Участие классических синклинальных месторождений в балансе запасов незначительно – около 3% , в то же время антиклинальные месторождения

представляют 13% запасов. Доли синклинальных и антиклинальных месторождений в общем количестве месторождений примерно равны (около 8%). Среди месторождений с запасами более 350 млн.т синклинальных месторождений нет. Антиклинальными месторождениями представлены 10% очень крупных месторождений и около 5% крупных месторождений (рис. 1а). Среди мелких месторождений в распределении по запасам и по количеству месторождений доля антиклинальных месторождений незначительна.

Анализ железорудных месторождений по протяженности рудных тел (рис. 3, 4) выполнен с разделением месторождений на пять классов по длине рудных тел: до 1000м, 1000-2000м, 2000-3000м, 3000-4000м и 4000-5000м. 37% запасов и 43% месторождений от их общего количества характеризуются длиной рудных тел от 1000 до 2000 м. С длиной рудных тел по простиранию более 3000м связано 25% запасов. Длиной рудных тел менее 1000м характеризуется 8% запасов и 28% от общего количества месторождений. Представительным является диапазон от 2000 до 3000 м – 31% по запасам и 17% от количества месторождений.

Анализ железорудных месторождений по суммарной горизонтальной мощности рудных тел (рис. 5, 6) выполнен с разделением месторождений на семь классов по мощности: до 50м, 50-100м, 100-150м, 150-200м и 200-300м, 300-500м и более 500м. Более 50% от суммарных запасов месторождений (рис. 5) представлены рудными телами, имеющими горизонтальную мощность более 200 м (рис. 5б): 30% запасов характеризуются горизонтальной мощностью 200-300м, 17% – 300-500м и 6% – более 500м. Более 50% от общего количества месторождений (рис. 6) имеют горизонтальную мощность менее 100м, 18% – более 200м.

В процессе проектирования открытой разработки месторождений решается ряд стратегических задач: определение границ карьера, выбор и обоснование схем вскрытия и системы разработки, выбор направления развития горных работ в карьерном пространстве и установление производительности карьера по руде, вскрыше и горной массе. Согласно норм технологического проектирования, возможная производительность карьера по руде определяется по формуле

$$A_p = h_{\Gamma} S_p r \frac{1 - r}{1 - n}, \text{ т,}$$

где h_{Γ} — скорость понижения добычных работ, м/год;
 S_p — площадь рудного тела, в пределах которой осуществляется понижение горных работ, м²;
 ρ — плотность руды в недрах, т/м³;
 r — эксплуатационные потери руды, доли единицы;
 v — коэффициент весового разубоживания.

В конкретных горно-геологических и горно-технических условиях определяющим параметром расчета возможной производительности карьера является показатель интенсивности разработки крутопадающих

месторождений — скорость понижения горных работ. В проектной практике на стадии технико-экономических обоснований, а также при ориентировочных расчетах скорость углубки карьера принимают по аналогии. На карьерах, использующих железнодорожный транспорт, годовое понижение добычных работ составляет в среднем 6-10 м/год, а при автомобильном транспорте 10-15 м/год.

Таким образом, технически возможная производительность карьера является функцией площади рудной зоны, которая в первом приближении равна произведению длины рудного тела на горизонтальную мощность. Используя собранную информацию о железорудных месторождениях, можно сделать предварительный прогноз о возможной производительности карьера и степени благоприятности горно-геологических условий. Основными факторами, влияющими на степень благоприятности месторождения для открытой разработки, является мощность покрывающих пород и суммарная горизонтальная мощность рудных тел. Известно, что при равной площади рудного тела более благоприятными условиями разработки будет характеризоваться карьер, обрабатывающий рудное тело большей горизонтальной мощности и меньшей протяженности по простиранию.

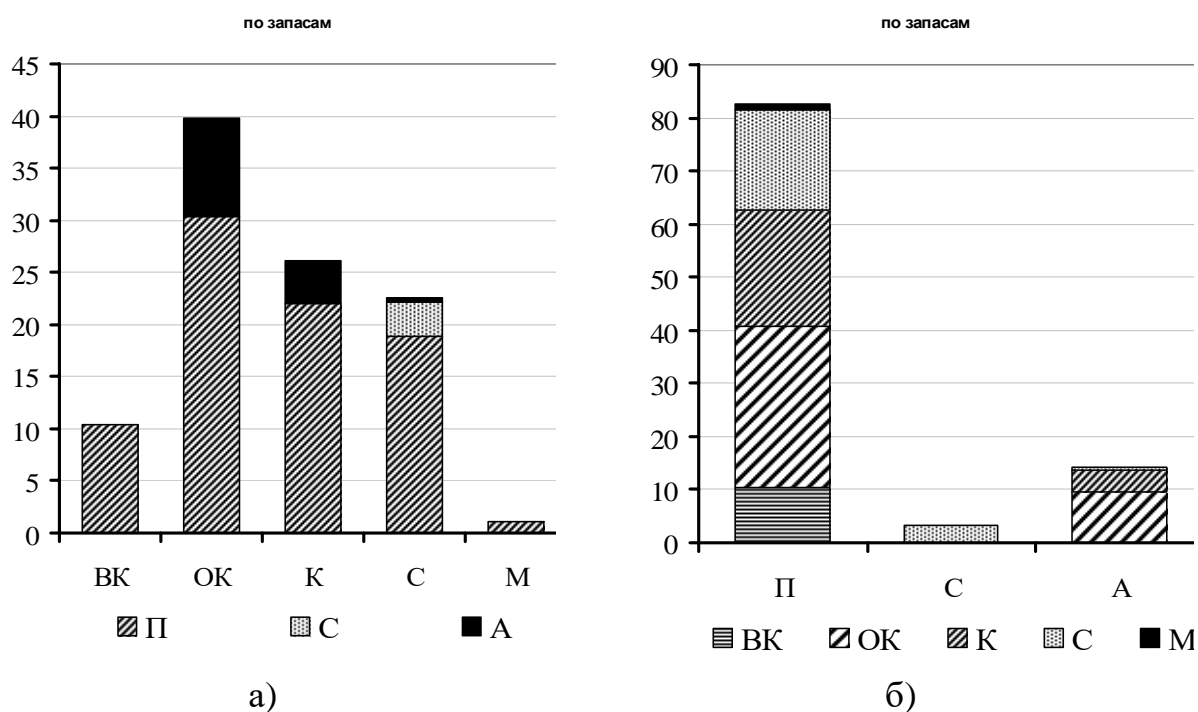


Рис. 1 — Распределение запасов железорудных месторождений по классам крупности (а) и по морфологическому строению месторождений (б)

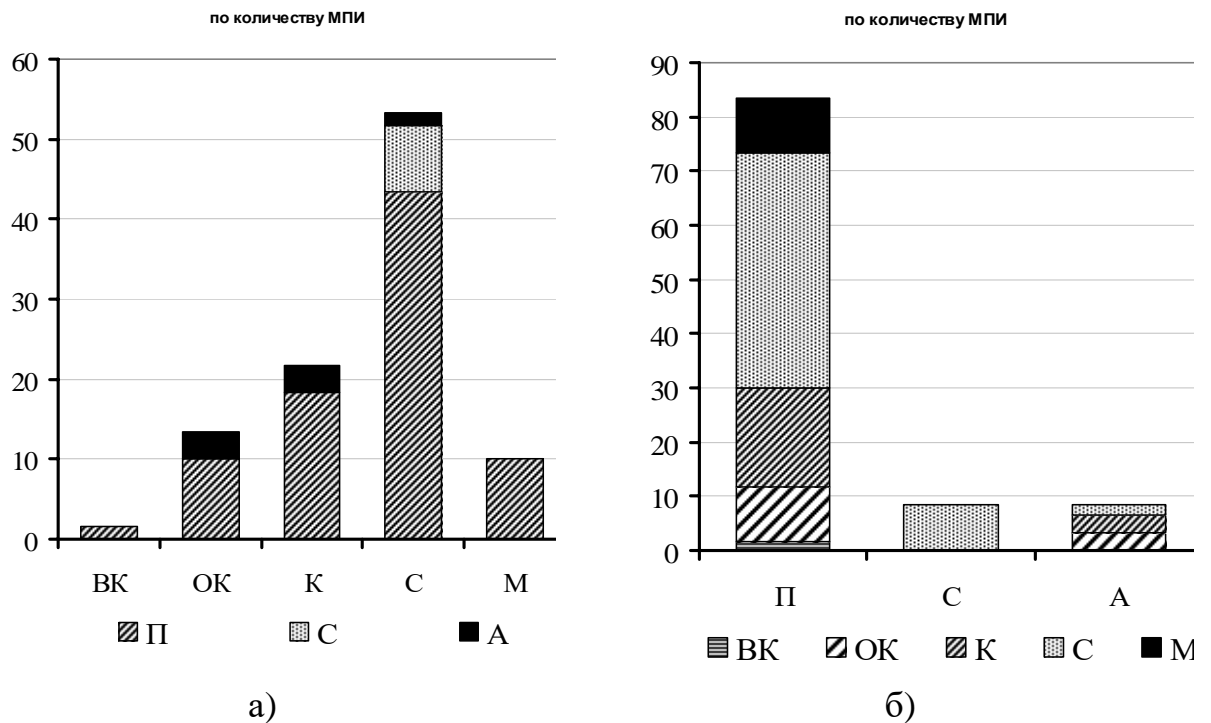


Рис. 2 — Распределение количества железорудных месторождений по классам крупности (а) и по морфологическому строению месторождений (б)

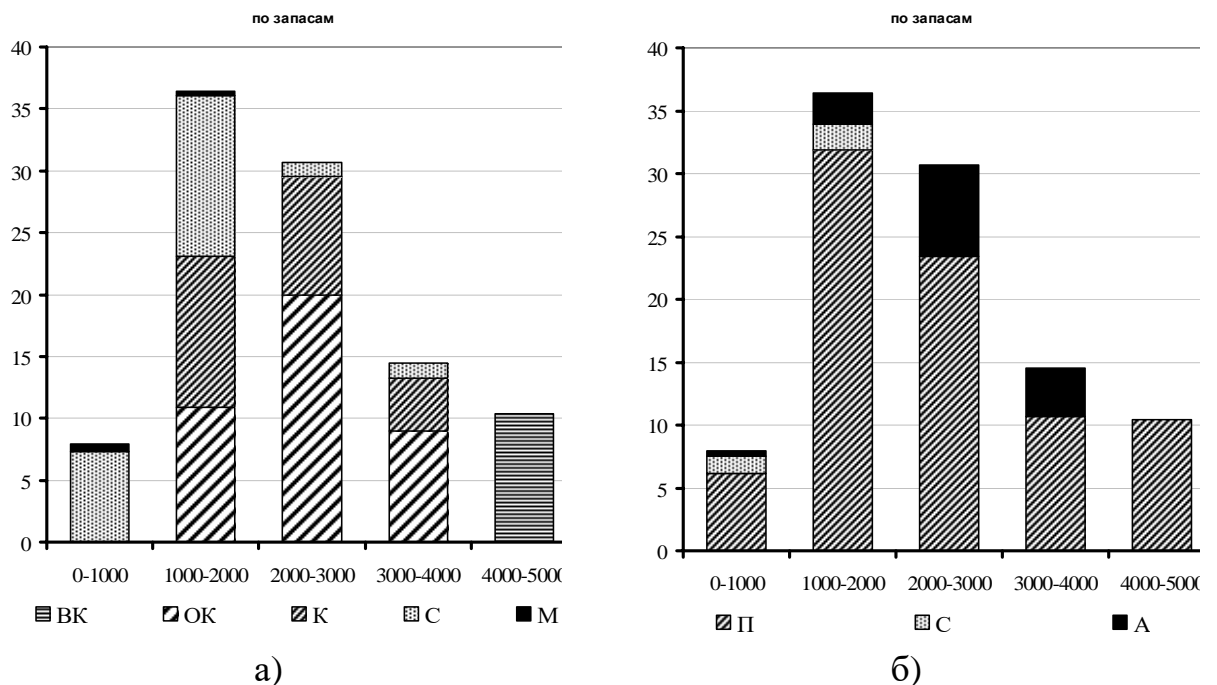


Рис. 3 — Распределение запасов железорудных месторождений разной крупности (а) и разного морфологического строения (б) в зависимости от протяженности рудных тел по простиранию

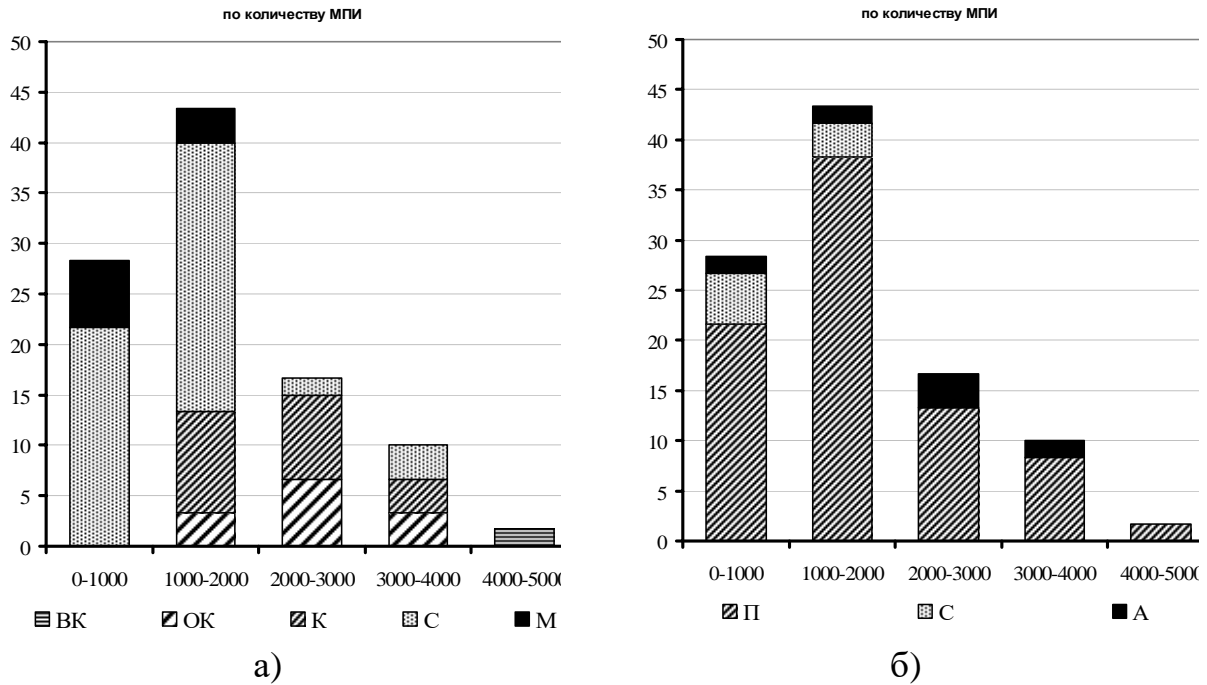


Рис. 4 — Распределение количества железорудных месторождений разной крупности (а) и разного морфологического строения (б) в зависимости от протяженности рудных тел по простиранию

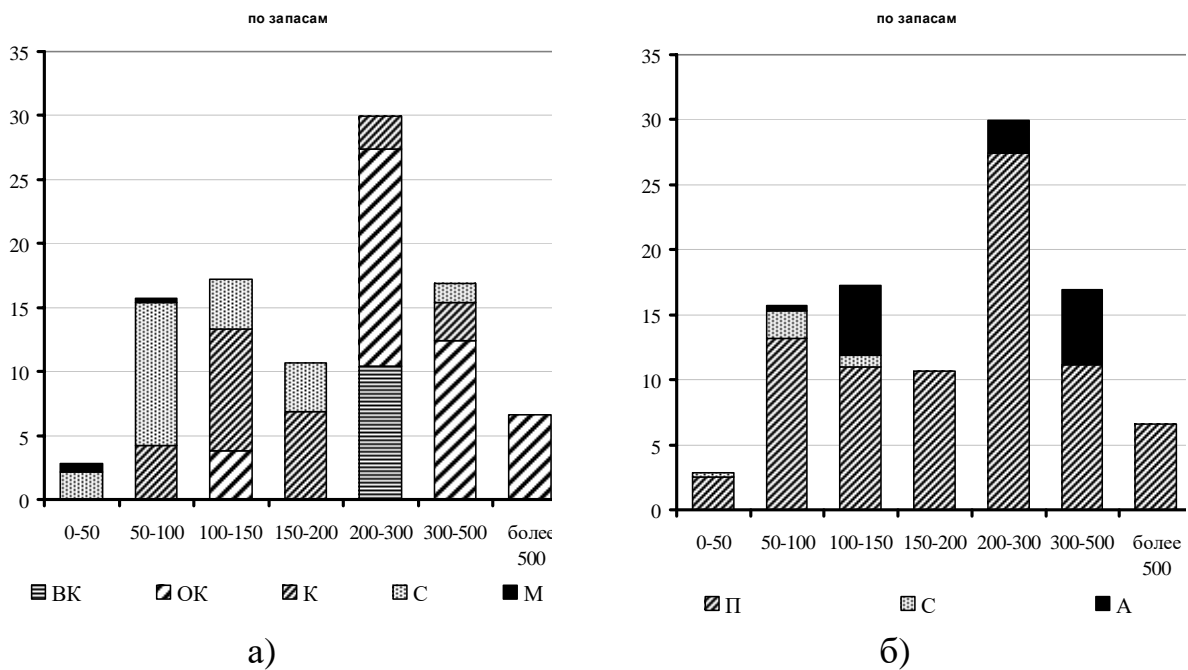


Рис. 5 — Распределение запасов железорудных месторождений разной крупности (а) и разного морфологического строения (б) в зависимости от горизонтальной мощности рудных тел

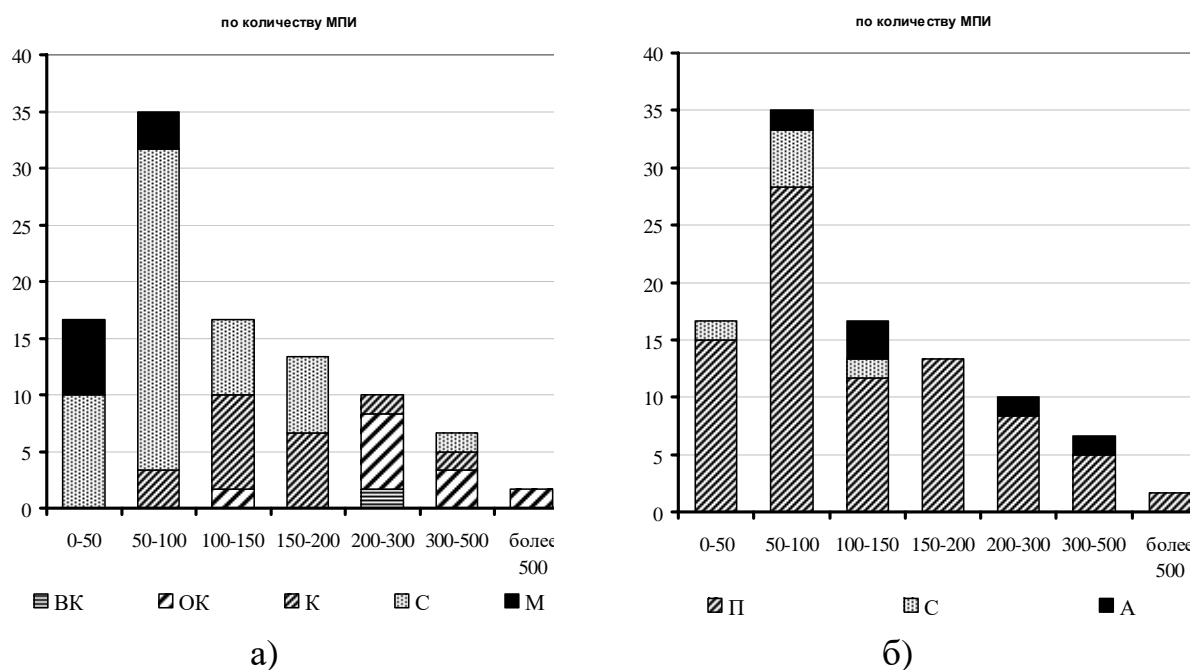


Рис. 6 — Распределение количества железорудных месторождений разной крупности (а) и разного морфологического строения (б) в зависимости от горизонтальной мощности рудных тел

Распределение запасов железистых кварцитов в зависимости от суммарной мощности и простирания рудных тел для перспективных и эксплуатирующихся месторождений приведено на рис. 7. Также на рисунке приведены графики (гиперболы), определяющие множество значений мощности и протяженности рудного тела по простиранию, произведение которых равно площади в 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50 и 100 га. Приняв скорость углубки условного карьера равной 7,5 м/год, получаем, что площадь рудного тела, равная 100×100м (1 га), обеспечивает добычу около 0,25 млн.т/год железистых кварцитов. Полученная оценка является завышенной, примем ее в качестве максимально возможной производительности. Соответственно, рудная зона площадью 5 га обеспечивает годовую добычу 1,25 млн.т, 10 га — 2,5 млн.т, 20 га — 5 млн.т и 100га — 25 млн.т. Ориентируясь на положение перспективных месторождений относительно гипербол, определяющих возможную производительность карьера при соответствующих значениях мощности и простирания, можно оценить промышленный потенциал месторождений.

Анализ положения на графике месторождений, находящихся в эксплуатации, коррелирует с известными данными о горно-геологических условиях в карьерах, их разрабатывающих.

Более 80% запасов характеризуются месторождениями с уровнем максимально возможной производительности, превышающим 5 млн.т/год. Это в основном месторождения с запасами более 350 млн.т (40% от общего количества анализируемых месторождений). Около 36% от общего количества месторождений характеризуются возможной производительностью менее 2,5

млн.т/год, с этими месторождениями связано 7% запасов.

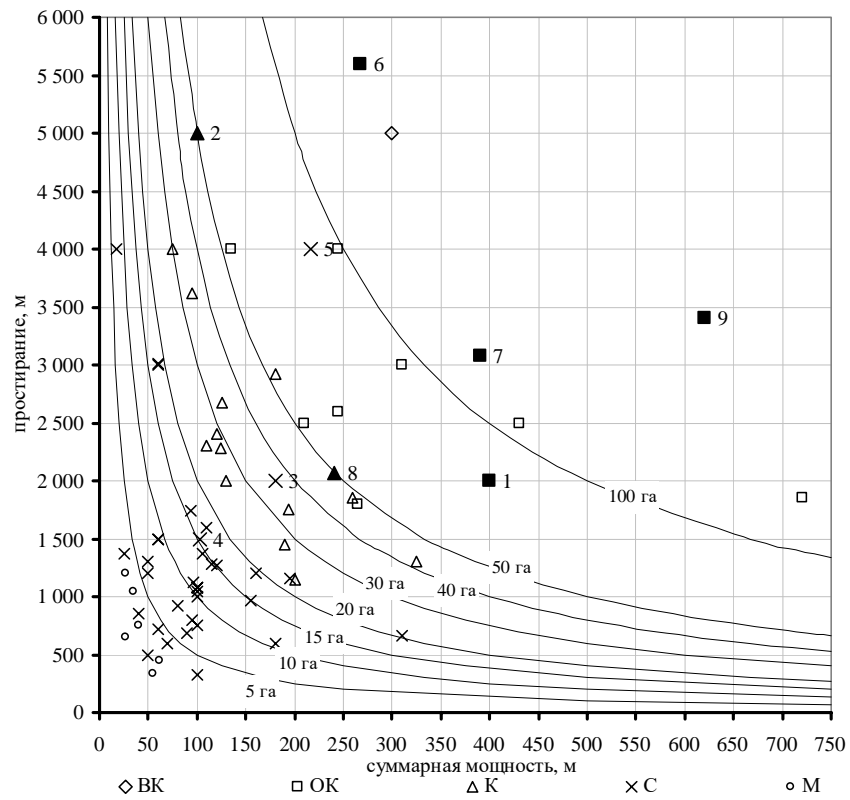
Влияния мощности и характера залегания рудного тела на основные технико-экономические показатели разработки месторождения исследованы на примере двух типов месторождений – пластового и штокверкового типов. Для этого были выполнены расчеты объемов добываемой руды и извлекаемых из карьера вскрышных пород для различных вариантов конечной глубины карьера, разрабатывающего месторождение с заданными параметрами. Для пластового типа был выполнен горно-геометрический анализ типового ряда месторождений, характеризующихся общим параметром – простиранием 2 000 м и переменным параметром – горизонтальной мощностью рудного тела от 50 м до 250 м. Глубина залегания рудного тела 500 м, мощность покрывающих пород 0 м. Полученные при этом зависимости объемов вскрышных пород от запасов руды в карьере приведены на рис. 8 (пунктирные линии). Для штокверковых месторождений параметры подбирались, исходя из условия равенства горизонтальной площади рудного тела площади соответствующего пластового месторождения.

Результаты расчетов в виде полученных зависимостей объемов вскрышных пород от запасов руды в карьере приведены на рис. 9 (пунктирные линии). Анализ результатов расчетов свидетельствует о том, что на технико-экономические показатели разработки решающее влияние оказывает горизонтальная мощность рудного тела.

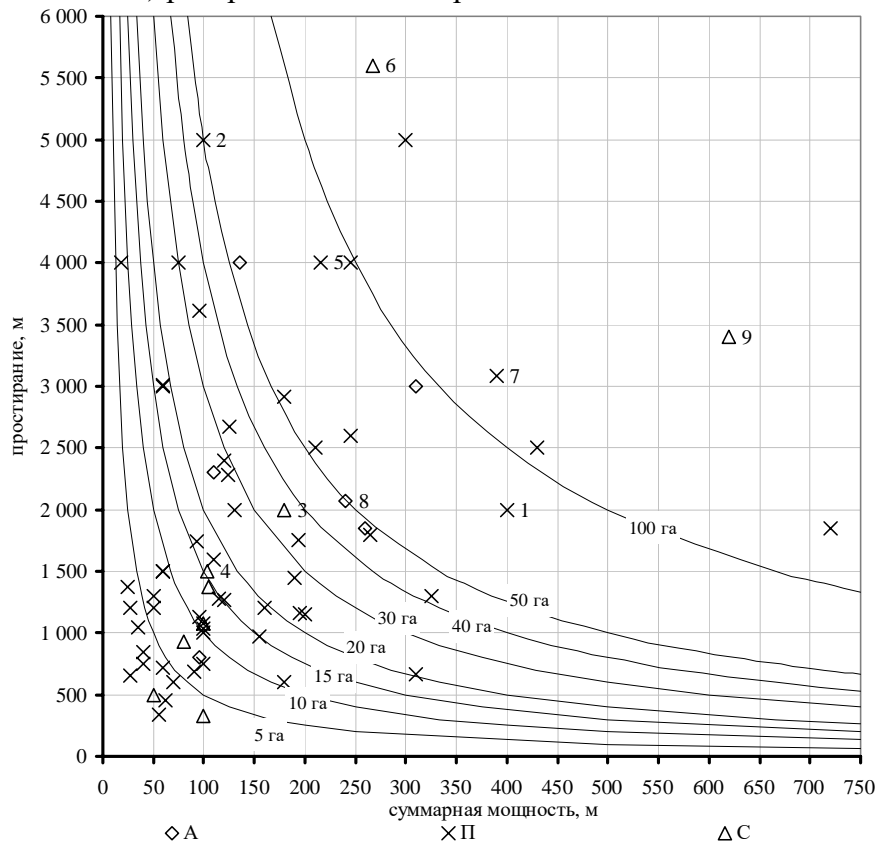
Для анализа технико-экономических показателей открытой разработки на рис. 8, 9 были нанесены линии равных удельных эксплуатационных затрат (\$/т). Линия равных удельных затрат соединяют точки, характеризующие объемы руды и вскрыши в конечных контурах карьеров, разрабатывающих месторождения типового ряда, удельные эксплуатационные затраты в которых стали равными заданному уровню. На рис. 8, 9 линии удельных эксплуатационных затрат в интервале возможных значений построены с шагом 1 \$/т. Линии равных затрат представлены пучком прямых, угловой коэффициент которых тем больше, чем выше удельные эксплуатационные затраты рассматриваемого карьера. В то же время, прямая линия на графике нарастающих объемов соответствует равному значению среднего коэффициента вскрыши.

Анализ ряда пластовых месторождений с мощностью рудного тела, изменяющейся от 50 м до 250 м, показывает, что по мере увеличения мощности рудного тела технико-экономические показатели открытой разработки улучшаются. При этом из двух видов рудных тел – пластового и штокверкового – меньшими эксплуатационными затратами характеризуются последние.

Это позволяет сделать вывод о том, что наряду с мощностью рудного тела важным параметром, влияющим на технико-экономические показатели, является отношение горизонтальной площади рудного тела к его периметру. Чем больше это значение, тем более благоприятные условия для разработки месторождения мы имеем.



а) распределение месторождений по запасам



б) распределение месторождений по морфологическому строению

Рис. 7 — Распределение месторождений в зависимости от суммарной мощности и простирания рудных тел для перспективных и эксплуатирующихся месторождений (1 – Первомайское, 2 – Анновское, 3 – Петровское, 4 – Артемовское, 5 – Большая Глееватка, 6 – Скелеватское, 7 – Валявкинское, 8 – Новокриворожское, 9 – Ингулецкое)

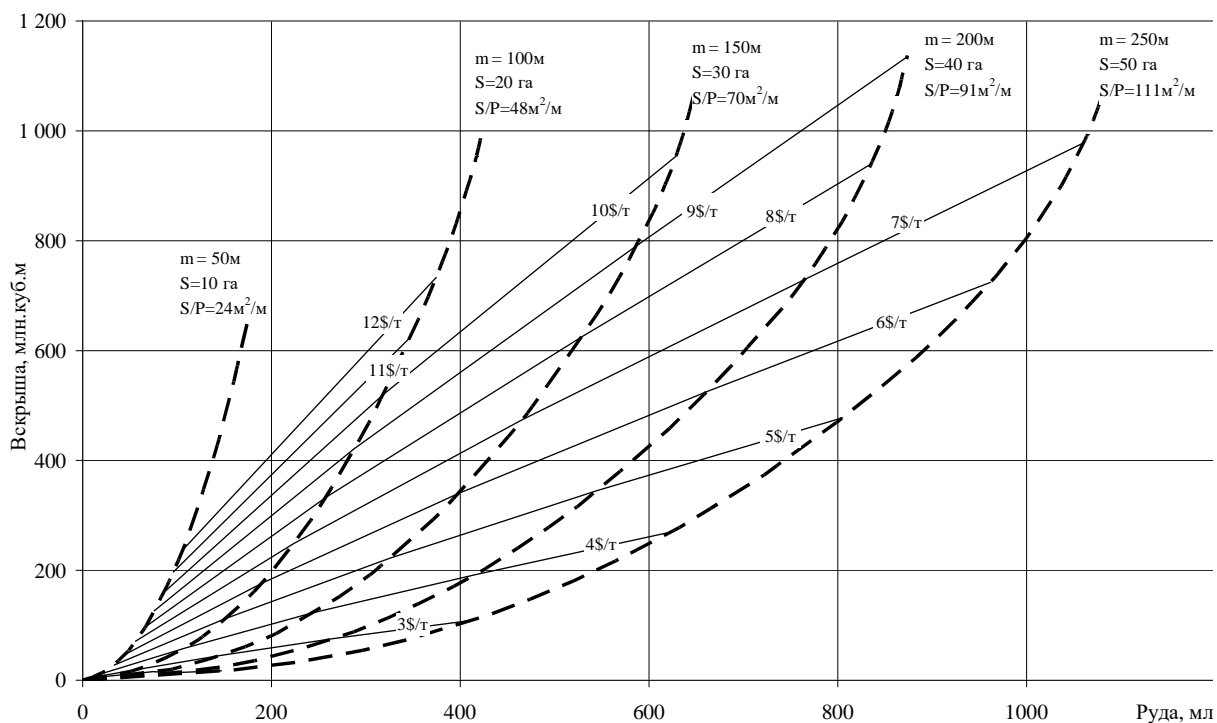


Рис. 8 – Зависимости объемов вскрышных пород от запасов руды в контурах карьеров, разрабатывающих пластовые месторождения с различной горизонтальной мощностью рудного тела

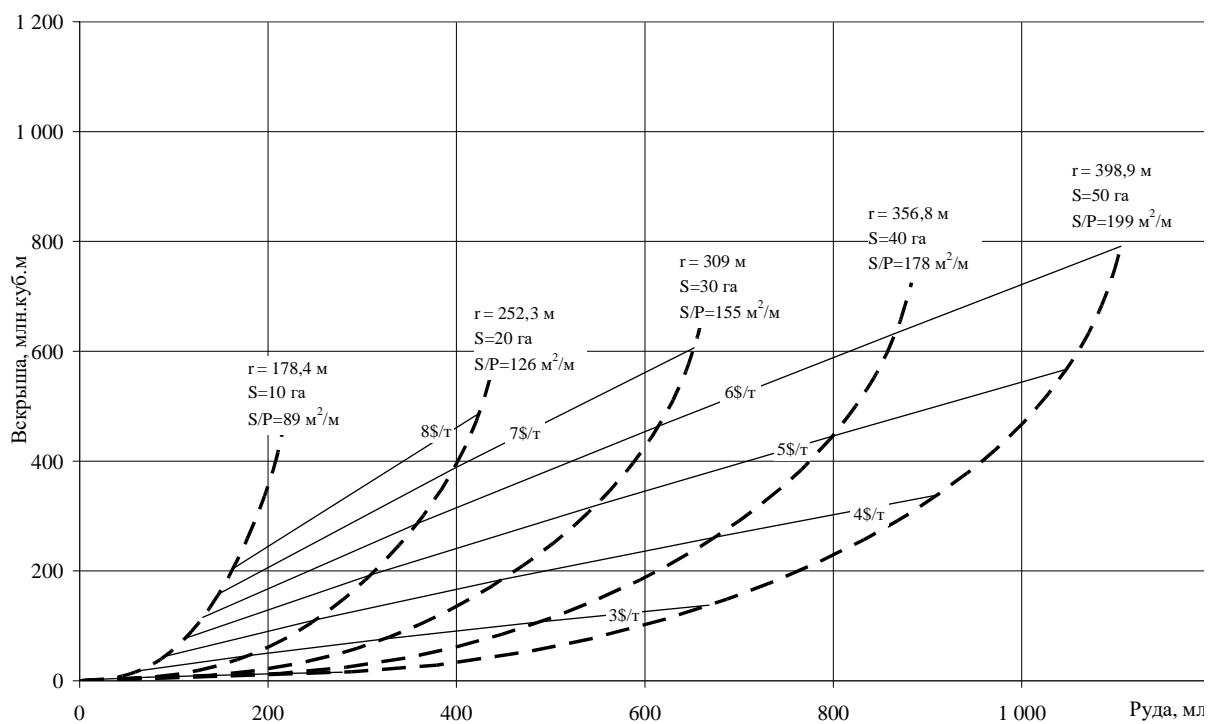


Рис. 9 – Зависимости объемов вскрышных пород от запасов руды в контурах карьеров, разрабатывающих штокерковые месторождения с различной горизонтальной мощностью рудного тела

Выводы и направления дальнейших исследований. Установлено, что пластовыми месторождениями представлены 82,5% запасов железистых кварцитов и 83,3% месторождений от общего их количества, синклинальными месторождениями — 3,3% запасов и 8,3% месторождений, антиклинальными — около 14% от балансовых запасов и 8,3% от числа месторождений. 50% запасов железистых кварцитов представлено месторождениями, имеющими горизонтальную мощность более 200м (18% от общего количества месторождений). Выполненный горно-геометрический анализ позволяет определить в качестве приоритетного направления дальнейшего развития теории открытой разработки пластовых крутопадающих месторождений.

Типизация и параметризация структурных типов железорудных месторождений систематизирует подходы к оценке различных типов месторождений, что позволит повысить эффективность оценочных и предпроектных работ по освоению новых месторождений. Системный подход к анализу железорудных месторождений позволит более детально оценить разведанные запасы железорудного сырья, определить рациональные параметры карьеров и технологию горных работ, определить основные принципы рациональной разработки малых и средних месторождений.

В дальнейших исследованиях необходимо проанализировать влияние мощности и характера залегания рудного тела на технологию горных работ, схему вскрытия и основные технико-экономические показатели открытой разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гросс Г.А. Геолого-экономическая оценка железорудных месторождений. - М.: Мир, 1969
2. Ржевский В.В. Технология и комплексная механизация открытых горных работ. - М.: Недра, 1975. - 574с.
3. Шешко Е.Ф. Открытая разработка месторождений полезных ископаемых. - М.: Углетехизд. 1951. - 562с.
4. Арсентьев А.И. Вскрытие и системы разработки карьерных полей. - М.: Недра, 1981. - 278с.
5. Вскрытие глубоких горизонтов карьеров / А.Ю.Дриженко, В.П.Мартыненко, В.И.Симоненко и др. - М.: Недра, 1994. - 289 с.
6. Мартыненко В.П. Научное обоснование и разработка экологически ориентированных технологий горных работ на железорудных горно-обогатительных комбинатах: Дис. д-ра техн. наук: 05.15.03 - Днепропетровск, 1999. - 344 с.
7. Железисто-кремнистые формации докембрия европейской части СССР. Прогнозная оценка железорудных месторождений / Веригин М.И., Епатко Ю.М., Орлов В.П. и др. - К.: Наукова думка, 1990. - 192 с.
8. Кулиш Е.А., Плотников А.В. Геологические факторы экономической ценности железорудных месторождений. - К., 2005. - 292 с.
9. Железорудные месторождения докембрия Украины и их прогнозная оценка/ Белевцев Я.Н., Епатко Ю.М., Веригин М.И. и др. - К.: Наукова думка, 1981. - 232 с.
10. Семененко Н.П. Геология железисто-кремнистых формаций Украины. - К.: Изд-во АН УССР, 1959. - 687 с.