

УДК 622.023.2

В.М. Тарасютин, канд. техн. наук, доц.

„Криворожский национальный университет“, г.Кривой Рог, Украина, e-mail: tarasjutin.victor@mail.ru

ГЕОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННЫХ МАРТИТОВЫХ РУД ГЛУБОКИХ ГОРИЗОНТОВ ШАХТ КРИВБАССА

V.M. Tarasyutin, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor

State Higher Educational Institution “Kryvyi Rih National University”, Kryvyi Rih, Ukraine, e-mail: tarasjutin.victor@mail.ru

GEOTECHNOLOGY FEATURES OF HIGH QUALITY MARTITE ORE FROM DEEP MINES OF KRYVVI RIH BASIN

Цель. Определение параметров и установление закономерностей геотехнологических свойств высококачественных мартитовых руд глубоких горизонтов шахт Кривбасса, обеспечивающих расчет процессов очистной выемки скважинной гидротехнологией, а также выбор и оконтуривание представительных участков массивов руд железорудных залежей.

Методика. Лабораторные определения и теоретическое обобщение параметров структурно-минералогических характеристик и горно-технологических свойств богатых мартитовых руд.

Результаты. В пределах разрабатываемых продуктивных горизонтов криворожских месторождений, в соответствии с закономерной минералогической зональностью, залегают значительные запасы высококачественных, образованных в результате процессов выщелачивания, мартитовых руд с содержанием железа 65–69%.

Структурно-морфологический и химико-минералогический анализ проб высококачественных мартитовых руд показал, что по структуре руды представляют собой тонкозернистые, высокопористые, преимущественно двухкомпонентные системы, состоящие по объему на 90–95% из мартиита и на 5–10% из кварца, что позволяет рассматривать запасы таких руд как перспективную сырьевую базу для производства железорудных концентратов высшего качества.

Установлено, что, при содержании железа в пробах мартитовой руды, изменяющимся от 66,6 до 68,8% (среднее 67,9%), содержание кремнезёма изменяется от 1,0 до 2,0% (среднее 1,45%), плотность – от 3,50 до $3,99 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ (среднее $3,68 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$), пористость – от 20 до 38% (среднее 30%) и предел прочности на одноосное сжатие – от 0,8 до 10 МПа (среднее 4,6 МПа).

Разработана классификация геотехнологических типов богатых мартитовых руд Кривбасса, пригодных для разработки скважинной гидротехнологией с горизонтов шахт.

Научная новизна. Заключается в том, что параметры геотехнологических свойств высококачественных мартитовых руд учитывают условия глубоких горизонтов железорудных шахт. Установлено, что пределы прочности на одноосное сжатие руд, образованных при разных условиях, снижаются по экспоненциальным зависимостям от их пористости.

Практическая значимость. Заключается в том, что параметры и закономерности геотехнологических свойств богатых мартитовых руд позволяют установить область применения и определить основные параметры скважинной гидротехнологии очистной выемки.

Ключевые слова: *мартитовая руда, химико-минералогический состав, пористость, предел прочности на сжатие, классификация*

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Значительная, от 25 до 40%, часть запасов продуктивных горизонтов природно-богатых железных руд месторождений Кривбасса представлена обособленными массивами рыхлосвязанных мартитовых руд выщелачивания с содержанием железа 65–69% и кварца 0,9–2,0%, являющихся по своим химико-минералогическим параметрам уникальной сырьевой базой для экологически чистого, безотходного производства железорудных концентратов – продукции нового уровня качества, удовлетворяющей требованиям бездомных металлургических производств [1, 2].

Применяемые в Кривбассе технологические схемы валовой выемки массивов природно-богатых руд на глубоких горизонтах шахт (1100–1400м), путем взрывной отбойки глубокими скважинами и площадного выпуска руды под обрушенными налегающими породами, характеризуются высокими (5–8%) потерями природного качества руды за счёт низкой интенсивности выполнения технологических процессов, опасностью горных работ и плохими санитарно-гигиеническими условиями труда. В связи с этим актуальной становится проблема разработки и освоения безопасной, альтернативной взрывным, инновационной скважинной гидротехнологии, для которой низкая прочность и устойчивость железорудных массивов на глубоких горизонтах

шахт бассейна являются благоприятными факторами [3]. В основу скважинной гидротехнологии положен новый принцип в технике разрушения и перемещения руды, что исключает присутствие горнорабочих в очистных забоях, обеспечивает высокую безопасность ведения горных работ, изменяет роль и значимость геомеханического фактора разработки, что упрощает конструктивное оформление очистных блоков, повышает концентрацию горных работ и сокращает потребность в энергоресурсах и материалах, что обеспечивает высокую экономическую эффективность [4].

Для наиболее рационального использования новой геотехнологии необходима всесторонняя изученность вещественного состава, строения и физико-механических свойств богатых маритовых руд, заключающаяся в количественной оценке их как объектов разработки.

Анализ исследований и публикаций. Основными геолого-минералогическими характеристиками руд и их геотехнологических свойств, определяющими энергетические и материальные затраты на разрушение, перемещение и первичную переработку гидросмеси, при скважинной гидровыемке руд, являются: предел прочности на одноосное сжатие, интегрально характеризующий разрушаемость руд струей воды; объемная плотность руд, позволяющая контролировать количество разрушаемой руды, объем и конфигурацию выработанного пространства, производительность разрушения, доставочных и транспортных средств; пористость, определяющая возможность селективной дезинтеграции руд на классы крупности; минералогический и химический составы, определяющие структурно-морфологические особенности и качественный состав руд, перспективы дальнейшей обогащаемости продуктов гидродобычи [4, 5].

Физико-механические свойства природно-богатых железных руд Криворожского бассейна средней и выше средней крепости, залегающих на средних глубинах, были достаточно детально изучены для условий применения систем разработки со взрывной отбойкой руды.

Геотехнологические свойства маритовых руд с содержанием железа более 65%, являющиеся необходимым условием их безопасной и эффективной разработки скважинной гидротехнологией, до последнего времени в достаточном объеме не изучались [5, 6].

Постановка задачи. Целью исследования является определение параметров и установление закономерностей геотехнологических свойств высококачественных маритовых руд глубоких горизонтов шахт Кривбасса, обеспечивающих расчет процессов очистной выемки скважинной гидротехнологией, а также выбор и оконтуривание представительных участков массивов руд в железорудных залежах.

Методика исследований включает лабораторные определения и теоретическое обобщение параметров структурно-минералогических характеристик и горно-технологических свойств богатых маритовых руд.

Определение основных геолого-минералогических характеристик и зависимостей изменения параметров геотехнологических свойств выполнены на представительных геологических пробах маритовых руд, ото-

бранных в откаточных и подэтажных горных выработках этажа 1165–1240м залежи „Основная 95“ шахты „Родина“ и этажа 860–940м залежей „Шурфов 42–46“, „Главная“ и „Гнездо 1–2“, шахты „Юбилейная“. Пробы, представленные штуфами и кусковым материалом взрывного разрушения, буровыми и дренажными шламами, отбирались из выработок и у гидрогеологических и взрывных скважин в местах, где, по данным шахтных геологических служб, содержание железа в руде составляет не ниже 65%. Изучение свойств каждой кусковой геологической пробы проводилось комплексно по единой методике.

Изложение материала и результаты. Горно-геологическая инвентаризация месторождений показала, что в пределах действующих и подготавливаемых горизонтов шахт Кривбасса („Родина“, „Октябрьская“, „Юбилейная“, „Гвардейская“ и „Им. Ленина“) практически повсеместно во всех залежах маритового состава размещаются массивы рыхлых, сильно трещиноватых, низкой устойчивости руд выщелачивания с содержанием железа, достигающим 69,5–69,8%. Руды сосредоточены в виде отдельных однородных, пластобразных, линзообразных или гнездообразных тел с запасами, составляющими от сотен тысяч до миллионов тонн. Так, например, в залежи „Основная-95“ шахты „Родина“, приуроченной к пятому железистому горизонту, в пределах этажа 1165–1240м, рыхлосвязанные маритовые руды составляли около 4,5 млн тонн, или свыше 35% от общих запасов этажа. При этом, в соответствии с общей минералогической зональностью размещения типов и сортов руд в продуктивных горизонтах Кривбасса, самые богатые „сыпучие“ с коэффициентом крепости 1–2 массивы руд приурочены к южной части и висячему боку залежи. Ниже горизонта 1240м количество слабых маритовых руд выщелачивания по прогнозным оценкам разведочного бурения остается на таком же уровне. Значительные запасы рыхлосвязанных маритовых руд сосредоточены также в залежах „Главная“, „Гнездо 1–2“, „Шурфов 42–46“ шахты „Юбилейная“ и залежах других шахт.

При подготовке горизонтов к очистной выемке в массивах очень богатых маритовых руд повсеместно отмечается интенсивный вынос из дренажных и гидрогеологических скважин значительных объемов порошкового рудного материала, обладающего при насыщении водой пльвунными свойствами. Это дает основание утверждать о принципиальной возможности принудительного гидравлического разрушения и перемещения по скважинам гидросмеси руд указанного типа.

В орте-заезде 53 оси гор. 940м залежи „Шурфов 42–46“ были отобраны керновые пробы из массива богатой маритовой руды. Керна отбирались вплотную для детального химического анализа и на однородность горно-технологических свойств руды. Несмотря на все попытки, получить керны ненарушенной структуры из рудных интервалов с содержанием железа свыше 67% не удалось. Выполненная в тех же скважинах прибором РСР-3 (γγ-каротаж) оценка содержания железа в масси-

ве показала хорошую сходимость с результатами химического анализа, что позволяет резко снизить затраты при детальном оконтуривании рыхлых рудных тел в общем железорудном массиве.

Химико-минералогическое изучение проб руды проводилось на шлифах и брикетах под микроскопом в отраженном свете при скрещенных николях с 200 и 250 кратным увеличением. Так, при изучении проб залежи „Шурфов 42–46“ установлено следующее. Минералогический состав высококачественных мартитовых руд характеризуется следующими данными (объемная доля, %): 0,22 магнетит; 92,7 мартит; 1,95 гидрооксиды железа; 0,77 карбонаты; 2,02 силикаты; 1,6 кварц; 0,95 апатит. Химический состав руд характеризуется следующими данными в (%) : 67,2Fe; 1,6SiO₂; 0,005Al₂O₃; 0,08CaO; 0,06MgO; 0,04MnO; 0,1CO₂; 0,006S; 0,1Na₂O; 0,008K₂O; 0,041P₂O₅; 0,28 п.п.п. По данным полуколичественного спектрального анализа (10⁻³%): 0,5V; 0,5Ge; 20Mn; 0,5Ca; 0,1Ni; 3,0Zn, в пробах не содержится промышленных концентраций редких и рассеянных элементов.

Мартит в руде сложен, преимущественно, правильными октаэдрическими зёрнами, срощившимися в виде ветвистых и лентовидных агрегатов, реже отдельными зёрнами, характеризующимися неровной ямчатой поверхностью (рис. 1). Основным нерудным материалом в исследуемых пробах является кварц, представленный, преимущественно, в виде отдельных зёрен или группы зёрен, связи между которыми ослаблены вследствие частичного растворения по границам их сростания. Наблюдается четкая зависимость увеличения пористости руды от степени ее выщелачивания. Другие минералы примесного состава, в частности карбонаты (кальций, доломит, сидерит), образуют отдельные линзовидные агрегаты среди основной массы кварца.

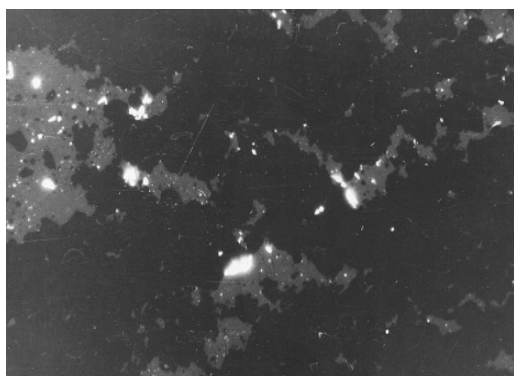


Рис. 1. Микрофото структуры мартитовой руды (залежь „Шурфов 42–46“): шлиф; проходящий свет; Николи+; увеличение ×250. Белое – кварц, темное – мартит, серое – поры и пустоты

Анализ исследуемых по залежам проб показал, что руды представляют собой двухкомпонентные высокопористые рыхлого и полурыхлого сложения минеральные системы, состоящие на 90–95% из тонкозернистого мартита и на 5–10% пылевидного кварца. Сопутствующие минералы представлены маршали-

том, каолинитом, гидрослюдами. Размеры зёрен и агрегатов мартита изменяются от 0,02 до 0,3–0,5мм, а вкрапленных зёрен кварца – от 0,005 до 0,03 и редко 0,1–0,2мм. Кварц с мартитом находится в сростках, преимущественно, в виде отдельных или реже групп зёрен с ослабленными связями вследствие частичного растворения по границам их сростания. Для рудных проб характерна неравномерная грубая пористость с размерами пор и микротрещин от 0,1 до 1мм.

Рудный материал из дренажных скважин характеризовался следующими геометрическими параметрами: размер зёрен и агрегатов мартитов изменялся от 0,02 до 0,4мм (80%); а кварца от 0,005 до 0,5мм (20%). При этом крупнозернистый кварц (+0,1–0,5мм) находился в сростании с зёрнами мартита, а тонкозернистый (+0,005–0,01) как в сростках (до 8%), так и в раскрытом (около 4%) состоянии, среднезернистый кварц весь в сростках. Таким образом, естественный гравитационный ток воды разрушает мартитовую руду, в основном, по микротрещинам и межпоровым связям, и лишь частично разрушает связи тонкозернистых кварцевых частиц с рудными минералами.

В табл. 1 приведена структурно-геометрическая характеристика богатых мартитовых руд, включающая число кусковатости *R*, средние размеры кусков руды *d_p*, зёрен мартита *d_м*, кварца *d_к*, пор *d_n* и их соотношения.

Таблица 1
Геометрические параметры структурообразующих элементов высококачественных мартитовых руд глубоких горизонтов шахт

Характеристики структурных элементов							
<i>R</i> , шт/м ³	<i>d_p</i> , мм	<i>d_м</i> , мм	<i>d_к</i> , мм	<i>d_n</i> , мм	<i>d_м/d_к</i>	<i>d_n/d_м</i>	<i>d_n/d_к</i>
2500-6500	30-90	0,02-0,3	0,005-0,03	0,1-1,0	>10	5-10	>50

В результате изучения вещественно-минералогического состава окисленных богатых железных руд установлено, что в целом руда имеет сугубо рыхлую структуру с ослабленными связями на границах сростания между зёрнами слагающих минералов, что должно благоприятно сказываться при ее гидравлической дезинтеграции и последующем обогащении.

Подготовка проб к горно-технологическим испытаниям включала выпиливание алмазной дисковой пилой из отобранных штучных кусков руды призматических образцов с ребрами граней длиной от 30 до 80мм.

Объемная плотность ρ_o определялась на изготовленных к прочностным испытаниям образцах по стандартной методике. Истинная плотность ρ_n определялась пикнометрическим методом после разрушения образцов. При этом кусковый материал дополнительно измельчался до состояния просеивания через сито с сеткой 02.

Пористость η вычислялась по формуле, %

$$\eta = \frac{\rho_u - \rho_o}{\rho_u} \cdot 100.$$

Предел прочности на одноосное сжатие $[\sigma_{сж}]$ определяли методом сжатия призматических образцов руды плоскими плитами прессы УММ-20 с рабочей шкалой 25кН, ценой деления 25Н и постоянной скоростью нагружения 0,2–0,3МПа/с до момента разрушения.

В табл. 2 приведены обобщенные данные проведенных испытаний. Здесь кодами Р1-Р5 обозначены группы образцов из залежи „Основная–95“. Кодами Ю1 – из залежи „Шурфов 42–46“, Ю2 – из залежи

„Главная“ и Ю3 – из залежи „Гнездо 1–2“. В графах в числителе приведены минимальные и максимальные значения характеристик, а в знаменателе – средняя их величина.

Из данных табл. 2 видно, что при содержании железа в пробах, изменяющемся от 67,0 до 68,8%, содержание кремнезёма изменяется от 1,0 до 2,0%, плотность – от 3,50 до 3,99 т./м³, пористость от 20 до 38%, а предел прочности на одноосное сжатие – от 0,8 до 10МПа.

Таблица 2

Результаты химических анализов и испытаний физико-гидротехнологических свойств богатых маритовых руд глубоких горизонтов шахт „Родина“ и „Юбилейная“

Код пробы	Горизонт, м	Число проб, шт.	Содержание Fe, %	Содержание SiO ₂ , %	Плотность ρ , 10 ⁻³ кг/м ³	Пористость η , %	Предел прочности $[\sigma_{сж}]$, МПа
Р1	1195	12	$\frac{67,2-68,4}{67,8}$	$\frac{1,2-1,7}{1,45}$	$\frac{3,53-3,86}{3,57}$	$\frac{24-29}{27}$	$\frac{2,5-4,0}{3,2}$
Р2	1195	9	$\frac{68,2-68,6}{68,4}$	$\frac{1,2-1,5}{1,35}$	$\frac{3,67-3,99}{3,70}$	$\frac{24-28}{26}$	$\frac{6,2-8,6}{7,0}$
Р3	1195	11	$\frac{67,8-68,0}{67,9}$	$\frac{1,6-2,0}{1,8}$	$\frac{3,58-3,78}{3,60}$	$\frac{21-27}{26}$	$\frac{7,5-10,0}{7,7}$
Р4	1240	9	$\frac{68,0-68,8}{68,4}$	$\frac{1,4-1,5}{1,45}$	$\frac{3,66-3,99}{3,86}$	$\frac{20-26}{25}$	$\frac{0,8-4,2}{3,1}$
Р5	1240	10	$\frac{68,2-68,8}{68,5}$	$\frac{1,0-1,3}{1,15}$	$\frac{3,50-3,89}{3,64}$	$\frac{28-36}{34}$	$\frac{4,2-9,8}{5,8}$
Р1-Р5	1195–1240	51	$\frac{67,2-68,8}{68,2}$	$\frac{1,0-2,0}{1,44}$	$\frac{3,50-3,99}{3,67}$	$\frac{20-36}{28}$	$\frac{0,8-10,0}{5,4}$
Ю1	940	15	$\frac{67,1-68,1}{68,6}$	$\frac{1,2-1,7}{1,45}$	$\frac{3,50-3,68}{3,62}$	$\frac{30-38}{35}$	$\frac{1,5-1,8}{1,6}$
Ю2	940	8	$\frac{66,8-67,4}{67,1}$	-	$\frac{3,62-3,82}{3,72}$	$\frac{26-30}{28}$	$\frac{4,6-6,7}{4,8}$
Ю3	940	9	$\frac{67,0-67,8}{67,4}$	-	$\frac{3,63-3,80}{3,70}$	$\frac{30-32}{31}$	$\frac{2,4-3,0}{2,8}$
Ю1-Ю3	940	32	$\frac{66,8-68,1}{67,4}$	$\frac{1,2-1,7}{1,45}$	$\frac{3,50-3,82}{3,68}$	$\frac{26-38}{31}$	$\frac{1,5-6,7}{3,7}$
Р-Ю	940–1240	83	$\frac{66,8-68,8}{67,9}$	$\frac{1,0-2,0}{1,45}$	$\frac{3,50-3,99}{3,68}$	$\frac{20-38}{30}$	$\frac{0,8-10,0}{4,6}$

На рис. 2 представлены в координатных осях $[\sigma_{сж}]$ - η области распределений физико-механических характеристик проб руды. На рис. 2 видно, что между значениями обобщенных характеристик $[\sigma_{сж}]$ и η наблюдается связь, причем для проб шахты „Родина“ большие значения $[\sigma_{сж}]$ соответствуют меньшим значениям η .

Генетически базовыми для маритовых руд являются маритовые роговики и джеспилиты, имеющие величину временного сопротивления одноосному сжатию в пределах 110–250МПа, а иногда и больше. Неизменным железистым роговикам и джеспилитам присуща, главным образом, гранобластовая (объемная) структура с чрезвычайно плотным срастанием маритовых и кварцевых зерен. Исследования микротвёрдости рудных и кварцевых минералов и контактов между ними (В.Т. Глушко) показали следующие значения: марит 1030–1180·10⁷Н/м² (твёрдость по Моосу 6–7); кварц 1240–1370·10⁷ Н/м² (твёрдость по Моосу – 7); на контакте маррита с кварцем 1200·10⁷Н/м². Близость значений показывает, что для пород данного типа зависимость между механической прочностью и количественными соотношениями слагающих их минералов не будут иметь существенного значения. Это

подтверждается микроскопическим исследованием образцов пород после испытаний на сжатие. Установлено, что трещины, образующиеся при разрушении образцов, проходят не только по контактам между зёрнами, но и секут сами зёрна минералов.

Известно [7], что маритовые руды образованы путем интенсивных процессов выщелачивания из роговиков и джеспилитов минеральных зерен кварца, что привело к увеличению их пористости и снижению прочности. Так как диаметр образованных в богатых маритовых рудах пор d_n , на порядок больше средних диаметров зерен кварца d_k и других минералов примесного состава, то, очевидно, что в прочностных характеристиках маритовых руд высокого качества основную роль играют структурные характеристики: пористость и строение межзёрновых контактов, определяемые условиями генезиса руд, а также вид напряженного состояния и условия их испытаний. Таким образом, при одинаковых составе руд и условиях их происхождения, основным фактором, определяющим их прочностные свойства, является пористость, измеряя которую можно получить параметры необходимого разрушающего воздействия и выбирать механизм этого воздействия.

Модель пористой мартитовой руды можно представить как совокупность частиц известного размера, соединенных перешейками, прочность которых и определяет прочность руды. В этом случае формула для определения прочности руд различной пористости и структуры минералов мартита на одноосное сжатие будет иметь вид [8], МПа

$$[\sigma_{сж}] = [\sigma_{к}] \cdot (1 - \eta)^2 \cdot e^{(-B\eta)}, \quad (1)$$

где $[\sigma_{к}]$ – предел прочности на одноосное сжатие образцов окисленных джеспилитов или роговиков, аналогичных по генезису, составу и структуре пористым мартитовым рудам, МПа; η – общая пористость мартитовых руд, доли ед.; B – коэффициент, зависящий от генезиса мартитовых руд.

Формула (1) позволяет охарактеризовать прочность богатых мартитовых руд во всем диапазоне изменения их пористости. Уменьшение геологических преобразований при формировании богатых мартитовых руд ведет к возрастанию абсолютного значения коэффициента B .

Для рассмотренных условий формула (1) примет вид, МПа:

- руды залежи „Основная-95“

$$[\sigma_{сж}] = 230 \cdot (1 - \eta)^2 \cdot e^{(-12\eta)};$$

- руды залежи „Главная“, „Гнездо 1,2“, „Шурфов 42-46“

$$[\sigma_{сж}] = 180 \cdot (1 - \eta)^2 \cdot e^{(-12\eta)};$$

- среднее значение для богатых мартитовых руд бассейна

$$[\sigma_{сж}] = 210 \cdot (1 - \eta)^2 \cdot e^{(-10\eta)}.$$

Гидродинамическое струйное воздействие на рудный массив является малообъемным и охватывает ограниченную по глубине и площади зону обнажений массива, где проявляются, в основном, уровни структур более высокого порядка – от 0,1 до 10^{-6} м. Поэтому областью гидромониторного разрушения является массив руды с характеристиками, представленными в классификации геотехнологических типов богатых мартитовых руд Кривбасса (табл. 3), разработанной по результатам проведенных исследований и согласно [9].

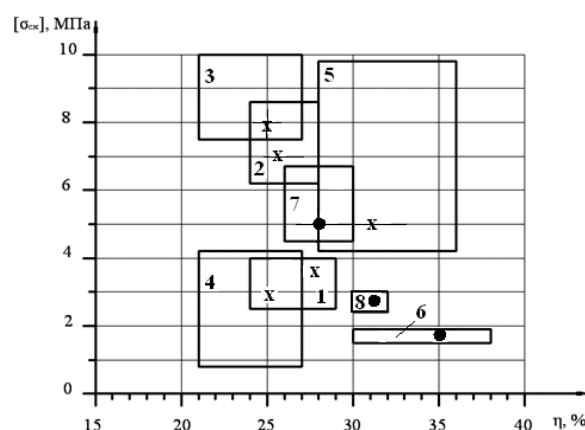


Рис. 2. Распределения пределов прочности на одноосное сжатие $[\sigma_{сж}]$ в зависимости от пористости η для групп проб богатых мартитовых руд глубоких горизонтов: 1, ..., 8 – области изменения максимальных и минимальных значений $[\sigma_{сж}]$ и η для проб групп P1, ..., P5 и Ю1, Ю2, Ю3 соответственно; × – обобщенные значения $[\sigma_{сж}]$ и η для проб кодов P1, ..., P5; ● – обобщенные значения $[\sigma_{сж}]$ и η для проб кодов Ю1, Ю2, Ю3

Таблица 3

Классификация геотехнологических типов богатых мартитовых руд Кривбасса

Тип руд	Пористость $\eta, \%$	Прочность $[\sigma_{сж}],$ МПа	Геотехнологическая характеристика руд
Исключительно пористые, рыхло-сыпучие зон гипергенного разуплотнения железнослюдково-мартитовые и мартитовые массы, рассыпающиеся при любой незначительной нагрузке в порошок. Структура губчатая с повсеместным развитием микрогранулированного кварца. Очень слабый межзерновой контакт. Легко выносятся при дренаже рудничных вод и разрушаются напорной струей воды до состояния рудо-породных зерен	>35	0–2	Селективно-дизинтегрируемые
Очень пористые, рыхлосвязанные с ослабленным контактом между зернами гранобластовой и объемной структуры, слаболитифицированные мартитовые и железнослюдково-мартитовые массы, разрушающиеся напорной струей воды до состояния порошка	30–35	3–5	Дизинтегрируемые
Высокопористые, рыхлые мартитовые умеренносцементированные массы с ковалентными связями, разрушающиеся напорной струей воды на мелкие фракции и порошок	25–30	6–9	Частично дезинтегрируемые
Пористые, полурыхлые сцементированные мартитовые массы, разрушающиеся напорной струей воды по микротрещинам, трещинам высших порядков и порам	20–25	9–15	Отбиваемые

Выводы и направления дальнейших исследований. В результате проведенных исследований установлено следующее:

1. В пределах разрабатываемых продуктивных горизонтов криворожских месторождений, в соответствии с закономерной минералогической зональностью, зале-

гают значительные запасы высококачественных, образованных в результате процессов выщелачивания, мартитовых руд с содержанием железа 65–69%.

2. Структурно-морфологический и химико-минералогический анализ проб высококачественных мартитовых руд показал, что по структуре руды представ-

ляют собой тонкозернистые, высокопористые, преимущественно двухкомпонентные, системы, состоящие по объему на 90–95% из мартита и на 5–10% из кварца, что позволяет рассматривать запасы таких руд как перспективную сырьевую базу для производства железорудных концентратов высшего качества.

3. Установлено, что при содержании железа в пробах мартитовой руды, изменяющемся от 66,6 до 68,8% (среднее 67,9%) содержание кремнезёма изменяется от 1,0 до 2,0% (среднее 1,45%), плотность – от $3,50$ до $3,99 \cdot 10^3$ кг/м³ (среднее $3,68 \cdot 10^3$ кг/м³), пористость – от 20 до 38% (среднее 30%), предел прочности на одноосное сжатие – от 0,8 до 10МПа (среднее 4,6МПа).

4. Разработана классификация геотехнологических типов богатых мартитовых руд Кривбасса, пригодных для разработки скважинной гидротехнологией с горизонтов шахт.

Список литературы / References

1. Технология комплексной переработки и использования богатых руд гидродобычи КМА / Л.А. Ломовцев, А.В. Максимов, Ф.М. Журавлев [и др.] / Горный журнал. – 1995. – № 1. – С. 39–42
Lomovtsev, L.A., Maksimov, A.V. and Zhuravlev, F.M., (1995), “Technology of complex processing and use of hydraulic mining of rich ores of KMA”, *Gornyy zhurnal*, no. 1, pp. 39–42.
2. Балашов А.Г. Богатая руда КМА в металлургическом производстве / А.Г. Балашов, В.Н. Анисимов // Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 69–70.
Balashov, A.G. and Anisimov, V.N. (2004), “Rich ore KMA in metallurgical production”, *Gornyy zhurnal*, no. 1, pp. 69–70.
3. Бабичев Н.И. Скважинная гидротехнология – новый способ освоения земных недр / Н.И. Бабичев, А.Н. Николаев // Горный журнал. – 1995. – № 1. – С. 14–18.
Babichev, N.I. and Nikolaev, A.N. (1995), “Borehole hydrotechnologies as a new way of development of the Earth's interior”, *Gornyy zhurnal*, no. 1, pp. 14–18.
4. Физико-химическая геотехнология / [Аренс В.Ж., Гридин О.М., Крейнин Е.В. и др.] – М.: Изд.-во „Горная книга“, 2010. – 655 с.
Arens, V.Zh., Gridin, O.M. and Kreynin, Ye.V. (2010), *Fiziko-khimicheskaya geotekhnologiya* [Physico-Chemical Geotechnology], Gornaya kniga, Moscow, Russia.
5. Жури́н С.Н. Природопользование при скважинной гидродобыче богатых железных руд / Жури́н С.Н., Колесников В.И., Стрельцов В.И. – М.: НИИ Природа, 2001. – 384 с.
Jurin, S.N., Kolesnikov, V.I., Sagittarius, V.I. (2001), *Prirodoolzovaniye pri skvazhinnoy gidrodobyche bogatyykh zheleznykh rud* [Natural Resource Management and Hydraulic Borehole Mining of Rich Iron Ore], NIA Priroda, Moscow, Russia.
6. Британ И.В. Ресурсы богатых железных руд КМА для скважинной гидродобычи / И.В. Британ // Горный журнал. – 2004. – № 1. – С. 59–61.
Britan, I.V. (2004), “Resources rich iron ore KMA for hydraulic borehole”, *Gornyy zhurnal*, no.1, pp. 59–61.
7. Железные руды КМА / Под ред. В.П. Орлова, И.А. Шeverёва, Н.А. Соколова – М.: ЗАО „Геоинформмарк“, 2001. – 616 с.
Orlova, V.P., Shevereva, I.A. and Sokolov, N.A. (2001), *Zheleznyye rudy KMA* [Iron Ore KMA], ЗАО “Geoinformmark”, Moscow, Russia.
8. Тарасютин В.М. Горнотехнологическое обеспечение безопасной выемки рыхлосвязанных мартитовых руд глубоких горизонтов месторождений Кривбасса / В.М. Тарасютин // Охорона праці та навколишнього середовища на підприємствах гірничо-металургійного комплексу: Збірник наукових праць. – Кривий Ріг.: ДП „НДІБПГ“. – 2008. – Вип. 9. – С. 19–30.
Tarasyutin, V.M. (2008), “Mining and technical ensuring of safe excavation of loosely bound martite ore from deep horizons of Krivbass deposits”, *Okhorona pratsi ta navkolyshnoho seredovysshcha na pidpryemstvakh girnicho-metallurgiyynogo kompleksu*, DP NDIBPG, Kryvyi Rih, issue 9, pp. 19–30.
9. Британ И.В. О критериях оценки ресурсов богатых железных руд КМА для скважинной гидродобычи / И.В. Британ // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2005. – № 3. – С. 226–232.
Britan, I.V. (2005), “About criteria for assessment of the resources of rich iron ore KMA for hydraulic borehole mining”, *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*, no. 3, pp. 226–232.

Мета. Визначення параметрів і встановлення закономірностей геотехнологічних властивостей високоякісних мартитових руд глибоких горизонтів шахт Кривбасу, що забезпечують розрахунок процесів очищення виймання свердловинною гидротехнологією, а також вибір та оконтурення представницьких ділянок масивів руд у залізрудних покладах.

Методика. Лабораторні визначення та теоретичне узагальнення параметрів структурно-мінералогічних характеристик і гірничо-технологічних властивостей багатих мартитових руд.

Результати. У межах продуктивних горизонтів криворізьких родовищ, що розробляються у відповідності до закономірностей мінералогічної зональності, залягають значні запаси високоякісних, утворених у результаті процесів вилугування, мартитових руд із вмістом заліза 65–69%.

Структурно-морфологічний та хіміко-мінералогічний аналіз проб високоякісних мартитових руд показав, що за структурою руди являють собою тонкозернисті, високопористі, переважно двокомпонентні, системи, які складаються на 90–95% з мартита і на 5–10% з кварцу, що дозволяє розглядати запаси таких руд як перспективну сировинну базу для виробництва залізрудних концентратів вищої якості.

Встановлено, що при вмісті заліза у пробах мартитової руди, який змінюється в межах від 66,6 до 68,8% (середнє 67,9%), вміст кремнезему змінюється від 1,0 до 2,0% (середнє 1,45%), щільність – від 3,50 до $3,99 \cdot 10^3$ кг/м³ (середнє $3,68 \cdot 10^3$ кг/м³), пористість – від 20 до 38% (середнє 30%) і межа міцності на одновісне стиснення – від 0,8 до 10МПа (середнє 4,6МПа).

Розроблена класифікація геотехнологічних типів багатих мартитових руд Кривбасу, що підлягають розробці свердловинною геотехнологією з горизонтів шахт Кривбасу.

Наукова новизна. Полягає в тому, що параметри геотехнологічних властивостей високоякісних мартитових руд враховують умови глибоких горизонтів залізородних шахт. Встановлено, що межі міцності на одновісне стиснення руд, утворених за різних умов, знижуються за експоненціальною залежністю від їх пористості.

Практична значимість. Полягає в тому, що параметри та закономірності геотехнологічних властивостей багатих мартитових руд дозволяють встановити область застосування й визначити основні параметри свердловинної гідротехнології очисного виймання.

Ключові слова: *мартитова руда, хіміко-мінералогічний склад, пористість, межа міцності на одновісне стиснення, класифікація*

Purpose. To determine the parameters and regularities of geotechnical properties of high quality martite ores from deep horizons of mines of Kryvyi Rih basin that can provide calculation of ore production by borehole hydraulic technologies, as well as selection and delineation of representative areas in massifs of iron ore in the deposits.

Methodology. Laboratory-based determination and theoretical generalization of the parameters of structural and mineralogical characteristics and ore-processing properties of rich martite ores.

Findings. Within the developed productive horizons of Kryvyi Rih deposits, there are significant reserves of high-quality martite ore with iron content of 65-69%, which was formed as a result of leaching and occurs in accordance

with the laws of the mineralogical zoning. Structural and morphological and chemical-mineralogical analysis of samples of high quality martite ores showed that structurally the ores are fine-grained, highly porous, mostly two-component system consisting in volume by 90-95% of martite and 5-10% of quartz, which allows us to consider reserves of such ores as a promising source of raw materials for the production of iron ore concentrates of the highest quality. We have found that when the content of iron in the martite ore samples varies between 66.6 to 68.8% (mean 67.9%), the silica content ranges from 1.0 to 2.0% (mean 1.45%), density varies from 3.50 to $3.99 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$ (mean $3.68 \cdot 10^3 \text{ kg / m}^3$), porosity ranges from 20 to 38% (mean 30%) and uniaxial tensile strength of compression varies from 0.8 up to 10 MPa (mean 4.6 MPa). We have developed the classification of geotechnical types of rich martite ores from Kryvyi Rih basin suitable for the development by borehole hydrotechnologies.

Originality. The parameters of geotechnical properties of high quality martite ore take into account the conditions of deep horizons of iron ore mines. We have found that the tensile strength of the uniaxial compression of the ores formed under different conditions reduces by an exponential dependence on their porosity.

Practical value. The laws of geotechnical parameters and properties of the rich martite ores allow us to define the basic parameters and range of application of borehole hydrotechnologies.

Keywords: *martite ore, chemical-mineralogical composition, porosity, compressive strength, classification*

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.О. Калініченком. Дата надходження рукопису 06.12.13.