

УДК 549 : 553.31 (477.63)

Евтехов В.Д., Евтехов Е.В., Филенко В.В., Евтехова А.В.,  
Тихливец С.В., Петрухин А.В., Георгиева Е.П.

## ПРИКЛАДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ ГЕМАТИТ-СОДЕРЖАЩИХ ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД ЖЕЛТОРЕЧЕНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

*Изложены результаты изучения минерального, гранулометрического, химического состава, влажности лежалых хвостов балки Раздеры (г. Желтые Воды), на основе которых были построены минералого-геохимические и минералого-технологические разрезы техногенных залежей, определены ресурсы железорудного (гематитового) сырья.*

Одной из неотложных минерально-сырьевых проблем Украины является вовлечение в отработку техногенных залежей природного и техногенного минерального сырья, которые были накоплены и продолжают накапливаться на территории предприятий горно-металлургического комплекса. Во-первых, это обусловлено огромным объемом техногенных минеральных отходов, заскладированных на территории Украины. По разным оценкам, их количество составляет от 30 до 40 млрд. т, из них около 10 млрд. т расположены на территории Криворожского железорудного бассейна. Значительные концентрации отходов обуславливают их чрезмерное техногенное давление на окружающую среду. Во-вторых, значительная часть техногенных минеральных отходов в настоящее время может рассматриваться как кондиционное металлическое или неметаллическое сырье.

Техногенные отходы Кривбасса содержатся в отвалах карьеров и шахт, хвостохранилищах обогатительных фабрик и шламохранилищах металлургического комбината. Использование их возможно на основе детального изучения геологического строения техногенных залежей, минерального и химического состава

накопленного материала, минералогического обоснование эффективной технологии обогащения железорудных отходов, подсчета ресурсов и запасов кондиционного минерального сырья.

Объектом исследований была техногенная залежь хвостохранилища балки Раздеры, заполненная тонкозернистыми отходами (лежалыми хвостами) обогатительной фабрики шахты «Новая» (г. Желтые Воды).

Цель работы состояла в геологическом изучении техногенных залежей, детальном исследовании минерального, гранулометрического, химического состава лежалых хвостов, составлении минералогического обоснования и проведении предварительных минералого-технологических экспериментов, разработке эффективной технологии производства высококачественного железорудного концентрата, составлении минералого-технологической классификации техногенного железорудного сырья, подсчете ресурсов железосодержащих лежалых хвостов [2, 4].

Значительная часть исследований была впервые выполнена для подобного рода объектов в Украине.

**Общие сведения.** Хвостохранилище балки Раздеры расположено на левом берегу реки Желтая в 2,5 км к юго-востоку от г. Желтые Воды. В геологическом строении участка хвостохранилища участвуют два структурных яруса: нижний, представленный, главным образом, гранитоидами днепропетровского комплекса мезоархея; и верхний, в строении которого принимают участие субгоризонтально залегающие пласты осадочных пород (в основном, глин, суглинков, песков) кайнозойского возраста [1].

Хвостохранилище по конструкции относится к овражно-балочным, было образовано в результате перегораживания балки Раздеры (балки Р) первичной дамбой, которая обеспечивает объем основной емкости хвостохранилища. Главное его зеркало (и балка) в верховьях разделено – отсюда название балки. Северо-восточное ответвление имеет название балки У, юго-восточное – балки С. Оба ответвления в их устьях отделены от балки Р первичными дамбами. Вторичные дамбы обвалования вокруг хвостохранилища не возводились.

Заполнение хвостохранилища балки Р было начато в 90-х гг. XX ст. в связи с закрытием хвостохранилища балки Терноватая (балки Т). Лежалые хвосты последней в настоящее время повторно обогащаются с целью производства высококачественного (содержание железа не менее 65 мас.%) гематитового концентрата. Хвостохранилище балки Р изучается как сырьевая база второй очереди обогатительного комплекса.

Часть хвостохранилища балки Р от основной дамбы до места ее разветвления продолжает заполняться текущими хвостами обогатительной фабрики шахты «Новая». Оба ответвления (отвержки) хвостохранилища, расположенные в балках У и С, были заполнены хвостами до проектной отметки в конце 90-х гг. XX ст. После завершения складирования хвостов поверхность обох отвержков постепенно была обезвожена. Техногенные залежи отвержков С и У отнесены к готовым к повторной эксплуатации.

Заполнение хвостохранилища происходило путем сброса текущих хвостов из хвостосливных труб, расположенных по западным бере-

гам обоих отвержков. Положение хвостосливных патрубков неоднократно менялись. В связи с этим лежалые хвосты характеризуются высокой степенью изменчивости по минералогическим, химическим, физическим, гранулометрическим показателям и, как следствие, по показателям обогатимости.

В строении техногенной залежи принимают участие также маломощные (до 0,5 м) пластобразные и линзовидные тела осадочных горных пород, грунтов, которые использовались при формировании дамб хвостохранилища. Эти особенности изученной залежи учитывались при проведении геологоразведочных работ, опробовании хвостов, выполнении минералогических и сопутствующих исследований.

**Исходный материал.** В качестве исходного использовался материал 352 рядовых проб лежалых хвостов, отобранных при бурении 55 разведочных скважин. Бурение выполнялось по разведочным профилям. При разведке техногенной залежи балки С четырнадцать разведочных профилей были расположены нормально по отношению к осевой линии хвостохранилища на расстоянии 50-100 м друг от друга. Расстояние между скважинами в профилях составляло около 50 м. Глубина скважин в зависимости от мощности рудного тела изменялась от 1 до 7 м. Для хвостов техногенной залежи балки У были проведены только предварительные геологические и минералогические исследования. Разведочные скважины были расположены по осевой линии рудной залежи (хвостохранилища). Расстояние между ними составляло около 50 м, глубина скважин от 6 до 12 м.

Интервал опробования керна лежалых хвостов равнялся 1 м. Масса каждой рядовой пробы составляла 5-10 кг. Такое количество материала было достаточным для проведения всех минералогических и сопутствующих исследований. Материал каждой рядовой пробы был тщательно усреднен способом «тройного кольца-конуса», после чего точечным методом были отобраны навески для выполнения фазового анализа железа в составе хвостов, определения их влажности, гранулометрического и минерального состава, т.е. для получения характеристик хвостов, которые необходимы для

выбора способов их технологических испытаний как сырья для получения железорудного концентрата.

Все исследования проводились в лабораториях кафедры геологии и прикладной минералогии Криворожского национального университета. Использовались стандартные методы минералогических, технологических исследований и серийное лабораторное оборудование.

**Фазовый состав железа.** Основными химическими показателями лежалых хвостов месторождений железисто-кремнистой формации, характеризующими их качество как железорудного сырья, является общее содержание железа ( $Fe_{общ.}$ ) и содержание железа, входящего в состав магнетита ( $Fe_{магн.}$ ). Эти химические параметры материала каждой рядовой пробы определялись в химической ла-

боратории Государственной инспекции «ГИК Южруда» (г. Кривой Рог).

По результатам фазового анализа железа, были выделены семь минералогическо-геохимических разновидностей лежалых хвостов: 1 – нерудные хвосты (содержание  $Fe_{общ.}$  ниже 5 мас.%); 2 – некондиционные хвосты-1 (содержание  $Fe_{общ.}$  от 5 до 9,99 мас.%); 3 – некондиционные хвосты-2 (от 10 до 14,99 мас.%); 4 – низкокondиционные хвосты (от 15 до 19,99 мас.%); 5 – кондиционные хвосты (от 20 до 24,99 мас.%); 6 – высококондиционные хвосты (от 25 до 29,99 мас.%); 7 – хвосты очень высокого качества (содержание  $Fe_{общ.}$  более 30 мас.%).

В табл. 1 приведены средние данные фазовых анализов железа хвостов балок С и У.

Таблица 1.

**Среднее содержание железа в составе лежалых хвостов изученных залежей балки Раздеры**

Индексы минералогическо-геохимических разновидностей лежалых хвостов	Пределы колебаний содержания $Fe_{общ.}$ , мас. %	Количество рядовых проб с соответствующим содержанием $Fe_{общ.}$	Среднее содержание, мас. %	
			$Fe_{общ.}$	$Fe_{магн.}$
1	0,00-4,99	13	3,89	0,69
2	5,00-9,99	20	7,43	1,16
3	10,00-14,99	14	11,94	0,98
4	15,00-19,99	98	17,94	1,20
5	20,00-24,99	127	22,26	2,87
6	25,00-29,99	54	26,94	6,39
7	понад 30,00	15	32,19	8,94
<b>Средние значения</b>			<b>20,20</b>	<b>2,95</b>

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что наибольшим распространением характеризуются кондиционные лежалые хвосты с общим содержанием железа 20-25 мас.% – 127 рядовых проб из изученной 341 пробы, т.е. 37,2% от общего количества проб. Меньшее распространение имеют низкокondиционные хвосты с содержанием железа 15-20 мас.% (28,7% от общего числа проб) и высококондиционные хвосты с содержанием железа 25-30 мас.% (15,8%). Хвосты с более низким и более высоким общим содержанием железа встречаются относительно редко, их количество колеблется от 3,8 до 5,9% от общего количества проб.

Среднее содержание железа, по данным химических анализов всех рядовых проб, со-

ставляет 20,20 мас.%. Опыт эксплуатации обогатительной установки, исходным сырьем которой являются аналогичные по составу и происхождению лежалые хвосты расположенной неподалеку балки Терноватая, показал, что минимальным содержанием железа в составе хвостов, обеспечивающим экономическую целесообразность их повторного обогащения, является 15 мас.%. Таким образом, по общему содержанию железа, лежалые хвосты балки Раздеры были отнесены к кондиционным.

После геометризации залежей руд разных минералогическо-геохимических разновидностей – в процессе подготовки технологического задания (ТЛЗ) на проектирование обогатительного комплекса – необходимо будет оценить воз-

возможность селективной добычи лежалых хвостов с общим содержанием железа более 15 мас.%. Хвосты с меньшим содержанием железа можно будет рекомендовать сбрасывать в отвалы без обогащения. В таком случае содержание железа в исходном сырье, которое будет направлено на обогащение, поднимется до 24-25 мас.%. По данным табл. 1, среднее содержание в хвостах железа, которое входит в состав магнетита ( $Fe_{\text{магн.}}$ ), – 2,95 мас.%. Значение этого показателя закономерно увеличивается с увеличением общего содержания железа в составе хвостов – от 0,69 мас.% для наиболее бедных железом их разновидностей (менее 5 мас.% железа) до 8,94 мас.% для наиболее богатых (более 30 мас.%).

**Влажность.** Содержание минеральных компонентов в составе текущих хвостов при их транспортировке по трубопроводу и в момент сброса в хвостохранилища составляет 4-5 мас.%. Остальные 95-96 мас.% составляет техническая вода. После стекания поверхностного слоя воды влажность техногенного осадка, в зависимости от его гранулометрического и минерального состава, колеблется от 15 до 60 мас.%. В дальнейшем происходит испарение влаги из поверхностного слоя лежалых хвостов, а также их постепенное обезвоживание вследствие миграции избыточной воды в массиве лежалых хвостов в направлении базиса эрозии. Роль последнего в хвостохранилище балки Раздеры выполняет заполняемая в настоящее время его западная часть. Поступление дополнительных порций влаги происходит, главным образом, с атмосферными осадками. Постепенно создается водный баланс лежалых

хвостов, который характеризуется сезонными колебаниями их влажности, большей или меньшей их насыщенностью водой в зависимости от минерального состава и размера частиц.

Влажность является важным техническим показателем, используемым при подсчете запасов и ресурсов лежалых хвостов, определении технологических показателей их транспортировки, рудоподготовки, обогащения. Влажность хвостов определялась по стандартной методике. После тщательного усреднения материала каждой пробы методом «тройного кольца-конуса» точечным методом отбирались навески массой около 500 г, определялась их масса с точностью до 0,1 г. В сушильном шкафу при температуре 70°C навески высушивались в течение 24 час., затем снова определялась их масса. Влажность хвостов рассчитывалась по формуле:

$$V = (M_1 - M_2) / M_2 \cdot 100\%,$$

где:

$V$  – влажность хвостов, % ,

$M_1$  – масса исходного материала пробы, г;

$M_2$  – масса материала пробы после высушивания, г.

В соответствии с полученными данными, влажность лежалых хвостов балки С колеблется от 1,7 до 43,9%. Хвосты балки У характеризуются более высокой влажностью: для них этот показатель колеблется в пределах от 12,8 до 55,5%. Средние показатели влажности хвостов семи минералого-геохимических разновидностей приведены в табл. 2.

Таблица 2.

Влажность лежалых хвостов изученных залежей балки Раздеры	
Индексы минералого-геохимических разновидностей лежалых хвостов	Среднее значение влажности, %
1	22,8
2	24,7
3	27,0
4	27,2
5	18,8
6	17,2
7	17,9
<b>Средний показатель</b>	<b>21,8</b>

Наблюдается довольно четкая зависимость между химическим и гранулометрическим составом хвостов. Хвосты с минимальными показателями содержания  $Fe_{общ.}$ , для которых характерно максимальное содержание переизмельченных силикатов, характеризуется максимальными показателями влажности – 22-28%. Для хвостов со сравнительно высоким содержанием железа (более 20 мас.%) значение этого показателя 17-19%.

**Гранулометрический состав** материала проб является одним из основных показателей лежалых хвостов, определяющих их технологические параметры, обуславливающих выбор оптимальной технологической схемы обогащения. Определение гранулометрического состава материала всех рядовых проб проводилось с использованием стандартного набора лабораторных сит. В обобщенном виде полученные результаты приведены в табл. 3.

Таблица 3.

**Гранулометрический состав лежалых хвостов изученных залежей балки Раздеры**

Индексы минералого-геохимических разновидностей лежалых хвостов	Среднее содержание (мас.%) материала соответствующих гранулометрических фракций (мм)				
	+0,25	-0,25 +0,1	-0,1 +0,071	-0,071 +0,05	-0,05
1	0,0	0,3	1,0	2,1	96,6
2	0,0	0,4	1,1	2,3	96,2
3	0,0	0,9	2,6	3,4	93,1
4	0,1	6,1	5,5	7,1	81,2
5	0,3	11,8	12,7	14,5	60,7
6	1,4	13,0	14,5	16,2	54,9
7	1,6	17,8	18,3	22,9	39,4
<b>Средние значения</b>	<b>0,4</b>	<b>9,1</b>	<b>9,6</b>	<b>11,4</b>	<b>69,5</b>

Как видно, лежалые хвосты на 70% состоят из частиц крупностью менее 0,05 мм. Этот параметр, а также показатели содержания материала других гранулометрических фракций хорошо согласуются с соответствующими характеристиками лежалых хвостов балки Терноватая, которые разрабатываются и обогащаются в настоящее время. Поскольку повторное обогащение последних признано экономически обоснованным, это можно прогнозировать и для хвостов балки Раздеры.

Если предусмотреть отделение илистой (размер частиц менее 0,03 мм) составляющей хвостов как фракции, не поддающейся обогащению, от их общего потока, размер частиц исходного материала, который будет направляться на обогатительную установку, значительно возрастет.

**Минеральный состав хвостов.** Как отмечалось выше, лежалые хвосты балки Раздеры являются отходом обогащения бедных магнетитовых руд (магнетитовых кварцитов) Желтореченского месторождения. По своей при-

роде, эти руды являются кластогенно-хемогенными метаморфизованными железисто-кремнистыми осадками, которые после метаморфизма были неоднократно преобразованы в связи с тектогенезом, натриевым метасоматозом, гидротермальными процессами, гипергенезом и др. [2-4].

Основным рудным минералом, который извлекается из магнетитовых кварцитов Желтореченского месторождения при их обогащении, является магнетит. Содержание его в исходной руде колеблется от 15 до 45 мас.%, в среднем составляет 33,87% (табл. 4). Основной нерудный минерал – кварц (39,79 мас.%). К другим рудообразующим и второстепенным минералам относятся гематит, представленный, в основном, железной слюдкой, в меньшем количестве мартитом и дисперсным гематитом (в среднем 14,68 мас.%), рибекит и магнезиорибекит (4,94%), эгирин (2,21%), куммингтонит (1,85%) и другие минералы.

После дробления и измельчения исходной руды до крупности частиц менее 0,071 мм из

водной суспензии этого продукта методом магнитной сепарации извлекается магнетит. Другие минералы сбрасываются в виде текущих отходов обогащения в хвостохранилище. Вследствие природных особенностей руд и несовершенства технологии их обогащения в текущие хвосты кроме слабомагнитных и немагнитных минералов (гематит, силикаты, карбонаты и др.) попадает также часть магнетита. Среднее содержание его в минеральной составляющей текущих хвостов около 3,5 мас.% (табл. 4), что соответствует среднему содержанию Fe<sub>магн.</sub> в составе хвостов – около 3 мас.% (табл. 1).

Сброс текущих хвостов сопровождается гравитационной дифференциацией минеральных частиц по их размеру и плотности. В результате наиболее крупные (более 0,1 мм) частицы кварца и силикатов, а также более мелкие (менее 0,1 мм) мономинеральные (раскры-

тые) частицы гематита и магнетита, характеризующихся максимальной плотностью (около 5200 кг/м<sup>3</sup>), концентрируются в непосредственной близости от хвостосливных труб. В результате здесь формировались техногенные залежи кондиционных лежалых хвостов. В местах, удаленных от хвостосливных труб, осаждались обедненные железом хвосты.

Минеральный состав лежалых хвостов изучался с использованием бинокулярного, петрографического и минераграфического микроскопов. Препаратами служили порошки материала всех рядовых проб, а также изготовленные из них прозрачные и полированные шлифы. Исследования выполнялись по стандартным методикам. Результаты количественного определения содержания минералов в составе лежалых отходов обогащения обоих хвостохранилищ (балки С и У) приведены в табл. 4.

Таблица 4.

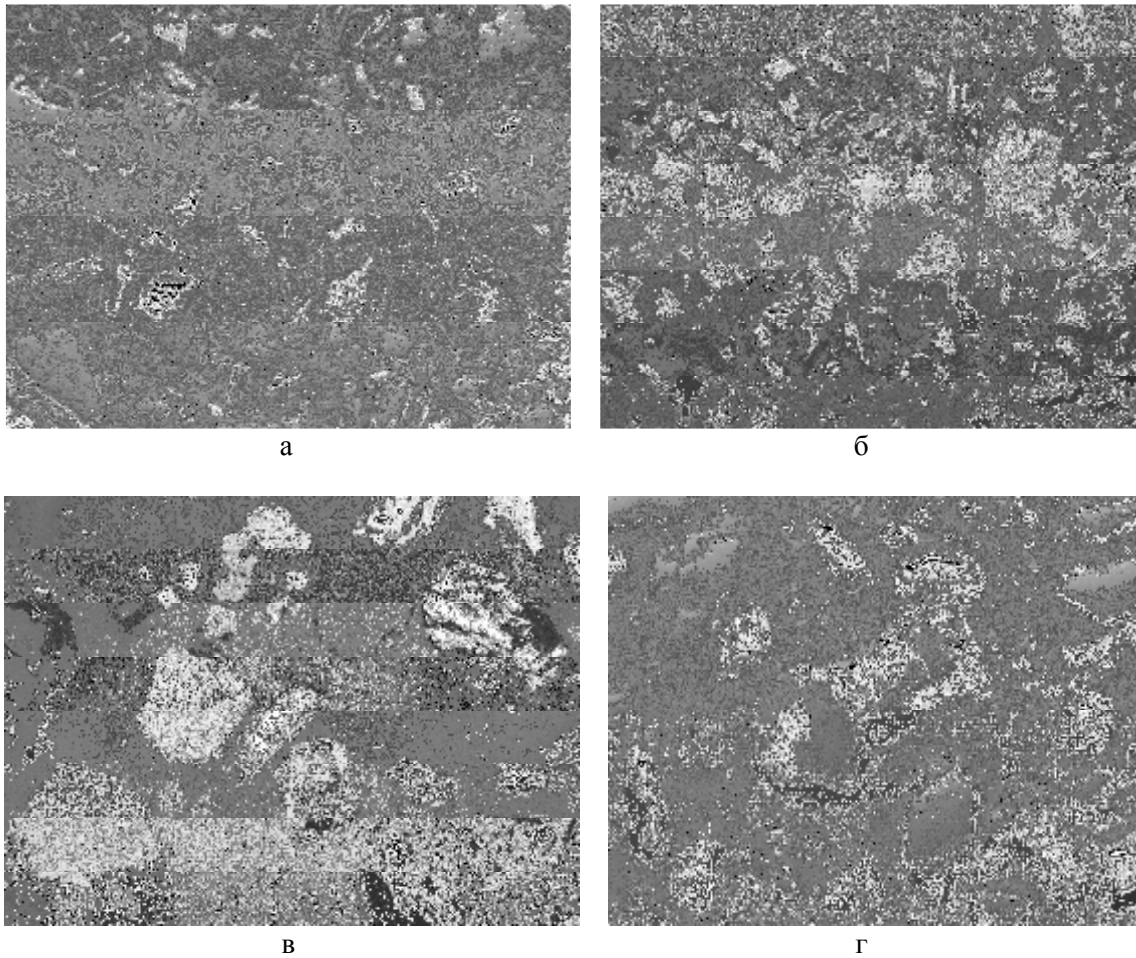
**Средний минеральный состав исходных железных руд Желтореченского месторождения и лежалых хвостов изученных залежей балки Раздеры**

Минералы и разновидности минералов	Среднее содержание минералов, мас.%	
	в составе исходных руд	в составе лежалых хвостов
магнетит	33,87	3,58
гематит (железная слюдка, мартит, дисперсный гематит)	14,68	20,05
гидроксиды железа (гетит, дисперсный гетит, лепидокрокит)	0,16	0,27
кварц	39,79	60,60
куммингтонит	1,85	2,34
рибекит, магнезиорибекит	4,94	7,02
эгирин	2,21	2,97
биотит, тетраферрибиотит	0,67	0,81
селадонит	0,16	0,23
стильпноmelан	0,15	0,22
железистый тальк (миннесотаит)	0,13	0,19
альбит	0,28	0,36
карбонаты	0,21	0,28
апатит	0,07	0,09
пирит, пирротин	0,11	0,12
другие минералы	0,72	0,87
<b>Всего</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>
<b>Количество определений</b>	<b>57</b>	<b>352</b>

*Другие минералы: хлорит, гизингерит, гранат (альмандин), ставролит, роговая обманка, турмалин, циркон, халькопирит.*

В соответствии с полученными данными, основным рудным минералом лежалых хвостов является гематит (рис. 1), представленный, в основном, железной слюдкой, в значительно меньшем количестве – мартитом. Гематит образует как мономинеральные (раскрытые) частицы (рис. 1а-1в), так и сростки, главным образом, с кварцем (рис. 1г), реже – с силикатами.

Дисперсный гематит, содержание которого в составе хвостов очень низкое, является продуктом выветривания железо-содержащих силикатов и карбонатов. В небольшом количестве присутствует магнетит – обычно в сростках с кварцем и силикатами, реже в виде мономинеральных частиц, которые оказались в отходах обогащения вследствие несовершенства работы обогатительного оборудования.



**Рис. 1.** Особенности минерального состава и строения частиц лежалых хвостов размером менее 0,1 мм (а, б) и более 0,1 мм (в, г).

Отраженный свет, без анализатора, увеличение 50<sup>х</sup>.

Белое – железная слюдка (пластинчатые частицы) и мартит (изометричные пористые частицы); светлосерое – гематит; серое – кварц и силикаты; темносерое – оксидный цемент шлифов.

Нерудные минералы представлены, главным образом, кварцем и силикатами. Кварц – основной в количественном отношении минерал хвостов – присутствует в виде мономинеральных частиц, значительно реже – в виде сростков с силикатами, гематитом и магнетитом. Сростки более характерны для крупнозернистого материала хвостов (рис. 1г). Содержание вредных минеральных примесей (сульфидов и апатита) незначительное.

**Минералогическое картирование залежей лежалых хвостов** выполнялось с целью подсчета ресурсов железорудного сырья, построения геолого-технологических карт залежей для обеспечения эффективной их отработки, усреднения исходного материала перед подачей на обогатительную установку.

Картирование основывалось на простроении вертикальных минералого-геохимических разрезов по разведочным профилям. Использовались результаты разведочного бурения залежей лежалых хвостов. На рис. 2 показаны характерные минералого-геохимические разрезы по разведочным профилям VI и XII хвостохранилища балки С.

**Обогатимость лежалых хвостов.** Минералого-технологические эксперименты проводились с целью изучения обогатимости лежалых хвостов, определения оптимальной технологии производства из них высококачественного железорудного концентрата, разработки минералого-технологической классификации лежалых хвостов как железорудного сырья.

В соответствии с результатами минералогических исследований, в состав лежалых хвостов входят частицы, которые заметно отличаются по размеру (от менее 0,01 мм до более 2-3 мм), плотности (от 2650 (кварц) до 5200 (магнетит и гематит) кг/м<sup>3</sup>), удельной магнитной восприимчивости. С учетом этого, лабораторные эксперименты по изучению обогатимости лежалых хвостов выполнялись с использованием гравитационной и магнитной технологий. Исходный материал, направляемый на эксперименты, на стадии рудоподготовки обесшламливался с целью удаления частиц крупностью менее 0,03 мм, поскольку этот материал практически не подвергается обогащению с использованием выбранных

методов. Кроме того, из исходного материала методом грохочения удалялись частицы крупностью более 0,1 мм, поскольку они, как правило, представлены сростками рудных (гематит, магнетит) и нерудных (кварц, силикаты) минералов. Таким образом, крупность материала, который направлялся на обогащение, составляла от 0,03 до 0,1 мм.

В связи с тем, что среди рудных минералов лежалых хвостов подавляющей распространенностью пользуется гематит, характеризующийся низкой магнитной восприимчивостью, обогащение хвостов магнитным способом выполнялось с использованием высокоинтенсивного магнитного сепаратора (магнитная индукция от 0,5 до 1,0 Тл). Для оптимизации режима обогащения из исходного материала предварительно удалялся сильномагнитный минерал магнетит. Обогащение хвостов гравитационным способом проводилось с помощью лабораторного концентрационного стола с изменяющимся режимом движений деки.

Технологические испытания выполнялись для материала укрупненных лабораторных проб массой 50 кг всех семи минералого-геохимических разновидностей хвостов, а также для генеральной пробы хвостов массой около 100 кг, в состав которой вошли в равных количествах навески материала всех 352 рядовых проб лежалых хвостов. Общая характеристика материала укрупненных лабораторных проб и генеральной пробы приведена в табл. 5.

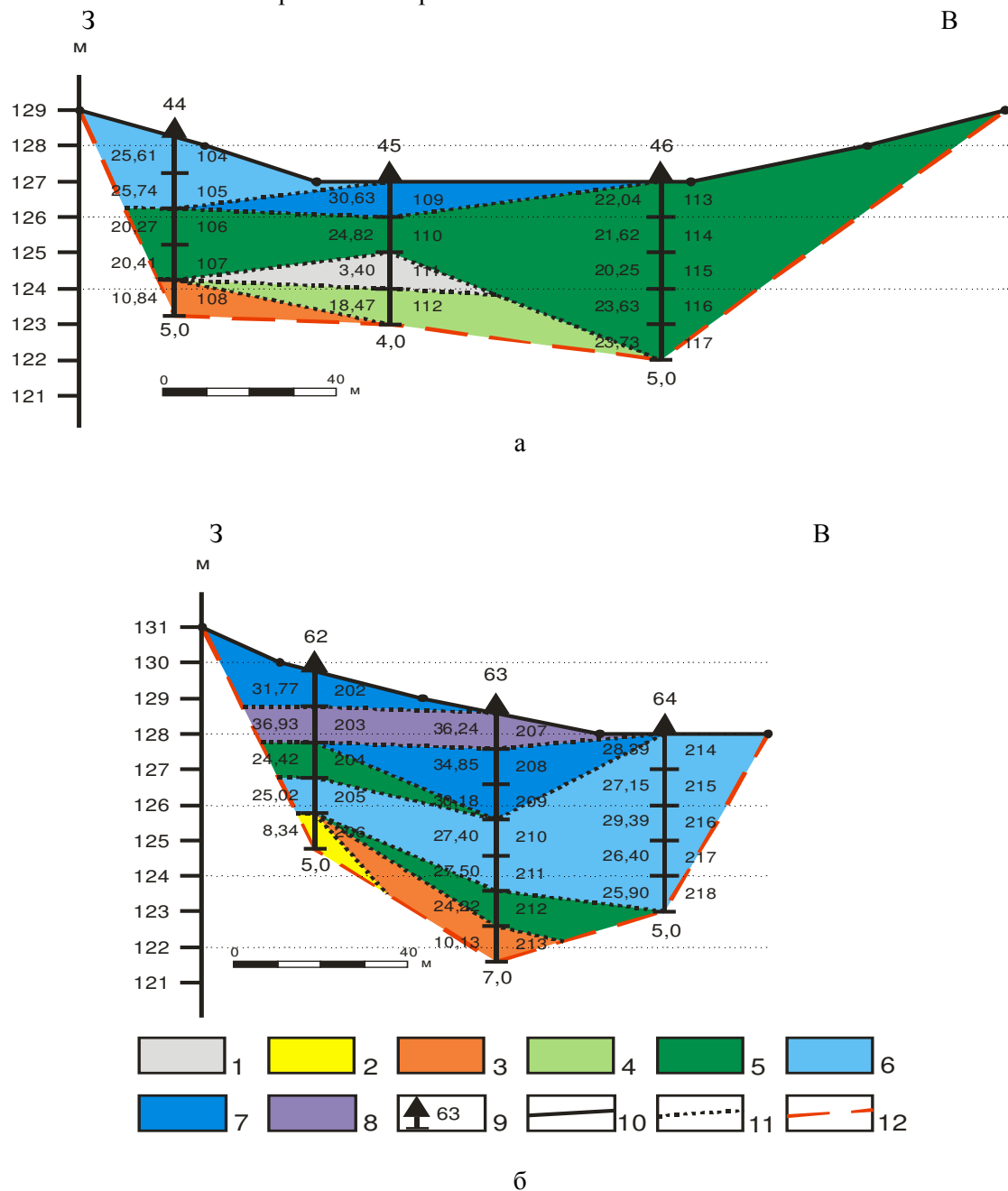
По результатам лабораторных испытаний методом магнитной сепарации, из материала укрупненных лабораторных проб и генеральной пробы был получен концентрат с содержанием железа от 55,5 до 57 мас.%. Эксперименты с использованием гравитационной технологии позволили получить концентрат значительно более высокого качества: общее содержание железа в его составе около 66 мас.%.

Характер перераспределения частиц рудных и нерудных минералов между концентратом и хвостами гравитационного обогащения лежалых хвостов показан на рис. 3.

По данным гравитационных опытов, была разработана минералого-технологическая классификация хвостов (табл. 6).



С использованием минералого-геохимических разрезов (рис. 2) и данных минералого-технологической классификации лежалых хвостов были построены минералого-технологические разрезы техногенной залежи (рис. 4).



**Рис. 2.** Минералого-геохимические разрезы техногенной залежи железных руд хвостохранилища балки С по линиям разведочных профилей VI (а) и XII (б).

1-8 – минералого-геохимические разновидности лежалых хвостов с общим содержанием железа (мас.%): 1 – 0-5; 2 – 5-10; 3 – 10-15; 4 – 15-20; 5 – 20-25; 6 – 25-30; 7 – 30-35; 8 – более 35 мас.%; 9 – разведочные скважины с обозначением их номеров (вверху), индексов рядовых проб

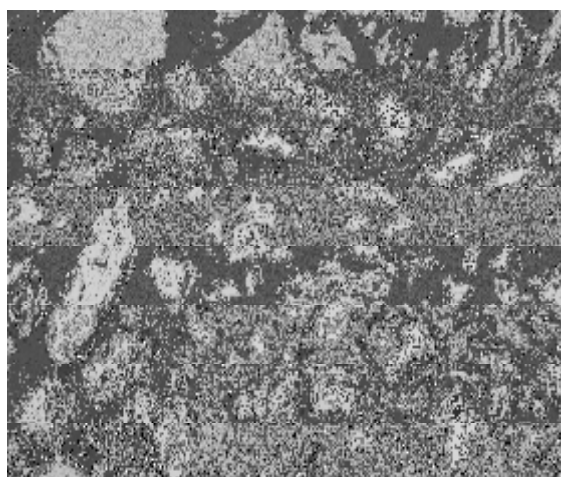
хвостов (справа), общего содержания железа в составе хвостов (слева) и глубины скважин (внизу); 10 – линии дневной поверхности; 11 – границы тел минералого-геохимических разновидностей лежалых хвостов; 12 – нижние границы залежей.

На шкале слева показаны гипсометрические уровни (м).

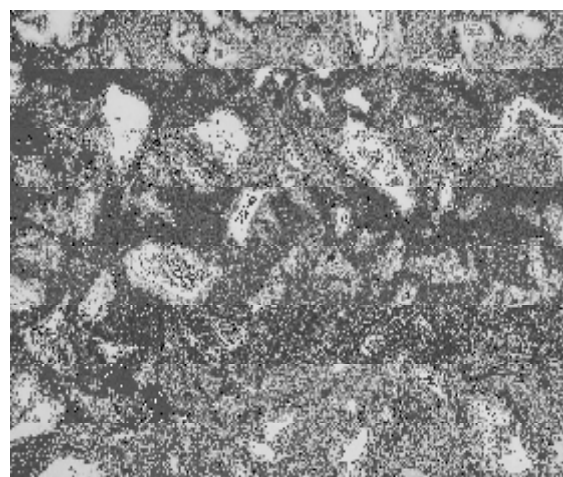
Таблица 5.

**Общие показатели материала исходных минералого-технологических проб**

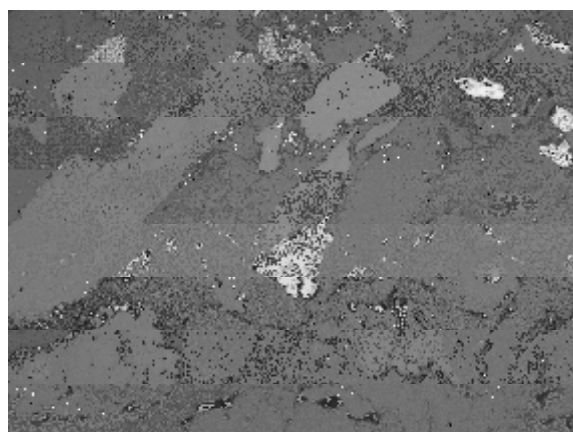
Минералого-геохимические разновидности лежалых хвостов	Масса проб, кг	Общее содержание железа ( $Fe_{общ}$ ), мас.%
1	50,0	4,5
2	50,0	8,1
3	50,0	10,9
4	50,0	18,0
5	50,0	21,2
6	50,0	26,2
7	50,0	34,2
<b>Генеральная проба</b>	<b>102,3</b>	<b>20,4</b>



а



б

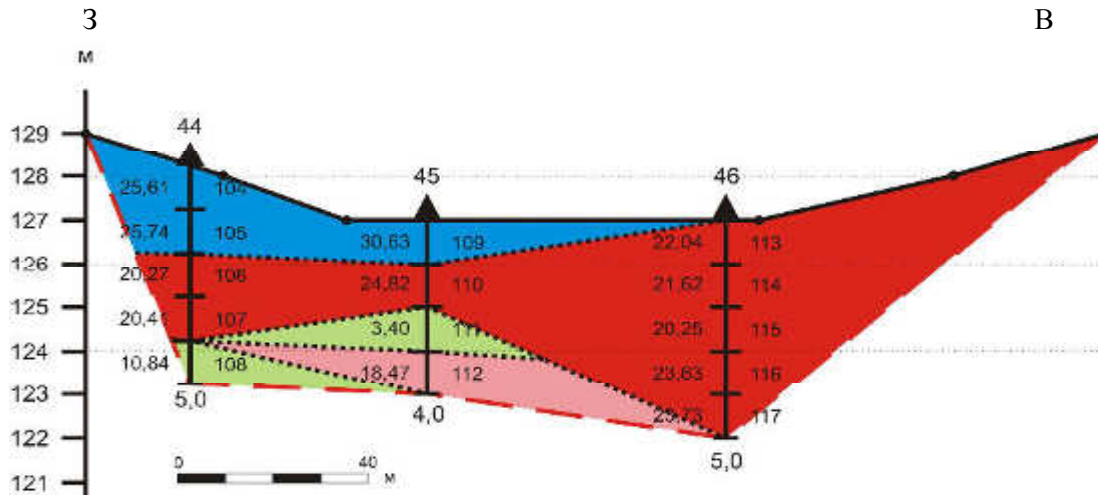


в

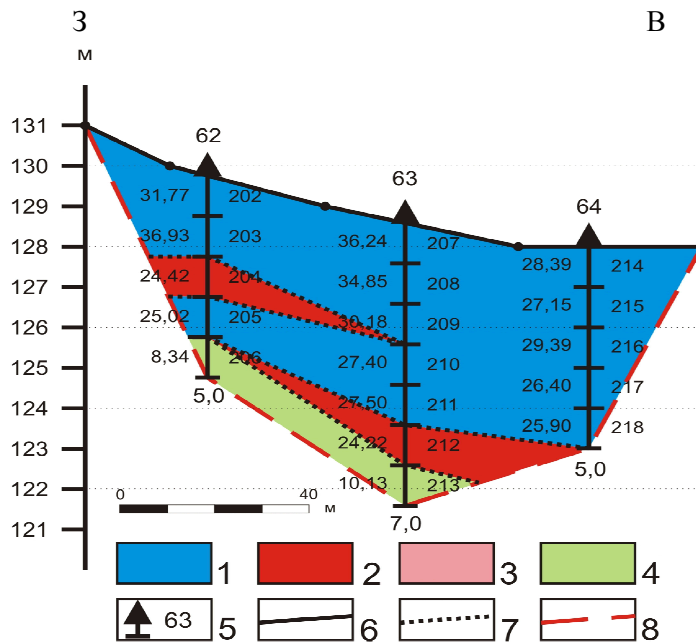


г

**Рис. 3.** Количественное соотношение гематита (белое) и нерудных минералов (серое – силикаты, темносерое – кварц) в составе гравитационного концентрата (а, б) и отходов обогащения (в, г) лежалых хвостов балки Раздеры; темносерое – эпоксидный цемент шлифов. Отраженный свет, без анализатора, увеличение 50<sup>x</sup>.



а



б

**Рис. 4.** Минералого-технологические разрезы техногенной залежи железных руд хвостохранилища балки С по линиям разведочных профилей VI (а) и XII (б).

1-4 – минералого-технологические сорта и подсорты лежалых хвостов (в соответствии с данными табл. 6): 1 – сорт I; 2 – сорт II, подсорт IIа; 3 – сорт II, подсорт IIб; 4 – сорт III; 5 – разведочные скважины с обозначением их номеров (вверху), индексов рядовых проб хвостов

(справа), общего содержания железа в составе хвостов соответствующего интервала (слева) и глубины скважин (внизу); 6 – линии дневной поверхности; 7 – границы тел лежащих хвостов разных минералого-технологических сортов и подсортов; 8 – нижние границы залежей.

На шкале слева показаны гипсометрические уровни (м).

Таблица 6.

**Минералого-технологическая классификация лежащих хвостов балки Раздеры**

Сорта и подсорты лежащих хвостов		Содержание железа в составе лежащих хвостов, мас.%	Содержание железа в составе концентрата, мас.%	Выход концентрата, %
сорта	подсорты			
I (легко обогатимые)	–	более 25	65-67	более 20
II (средне обогатимые)	IIa	15-25	65-67	10-20
	IIб			5-10
III (трудно обогатимые)	–	0-15	65-67	не более 5

После трехмерной геометризации залежей балок С и У были определены ресурсы железорудного сырья.

По результатам расчетов, масса лежащих хвостов выделенных сортов и подсортов для залежи балки С составляет (млн. т): минералого-технологический сорт I – около 0,5; сорт II, подсорт IIa – около 1,0; сорт II, подсорт IIб – около 1,3; сорт III – около 0,2. Общие ресурсы лежащих хвостов балки С – около 3 млн. т. Ресурсы лежащих хвостов балки У около 5,2 млн. т. Таким образом, общие ресурсы железорудного сырья техногенных залежей балок С и У составляют около 8,2 млн. т.

**Выводы**

1. Лежалые хвосты балки Раздеры представляют собой мелкозернистые отходы обогащения бедных магнетитовых руд (магнетитовых кварцитов) Желтореченского месторождения.

2. Для определения возможности отработки и повторного использования лежащих хвостов были проведены геологоразведочные работы в границах заполненной части хвостохранилища. По 15 разведочным профилям были пробурены 55 скважин глубиной от 1 до 12 м. Из керна скважин были отобраны 352 пробы лежащих хвостов массой 5-10 кг. Материал их использовался для определения химического, минерального, гранулометрического состава и влажности хвостов.

3. По общему содержанию железа (от 0 до более 30 мас.%) выделены семь минералого-геохимических разновидностей лежащих хвостов: 1-я – от 0 до 4,99 мас.%; 2-я – 5-9,99 мас.% ... 7-я – более 30 мас.%.

4. Влажность хвостов в среднем составляет 21,8 мас.%, изменяется от 22,8 мас.% для наиболее бедной железом ( $Fe_{общ.}$  – 0-5 мас.%) минералого-геохимической разновидности до 17,9 мас.% для самой богатой ( $Fe_{общ.}$  более 30 мас.%).

5. Лежалые хвосты относятся к тонкозернистым продуктам техногенной переработки природного рудного сырья. Содержание частиц крупностью менее 0,05 мм в материале наиболее низкожелезистой их разновидности составляет 96,6%, в материале наиболее высокожелезистой – 39,4%. Количество частиц крупностью более 0,1 мм в материале первой составляет 0,3%, второй – 19,4%.

6. Главные рудообразующие минералы хвостов – кварц (среднее содержание 60,60 мас.%) и гематит, представленный, преимущественно, железной слюдкой (20,05 мас.%). Второстепенное значение имеют силикаты (суммарно около 15 мас.%). Содержание магнетита в среднем составляет 3,58 мас.%. Количество вредных минеральных примесей (сульфиды, апатит) незначительное, каждого около 0,1 мас.%.

7. По результатам технологических испытаний, более эффективной была признана гравитационная технология повторного обогаще-

ния лежалых хвостов по сравнению с магнитной. В соответствии с результатами гравитационного обогащения, были выделены три минералого-технологических сорта хвостов. При одинаковом содержании железа в составе получаемого из них концентрата (65-67 мас.%), хвосты разных сортов отличаются по выходу концентрата: 1-й сорт – более 20%; 2-й сорт – 5-20%; 3-й сорт – менее 5%.

8. Данные геологоразведочных работ, минералогических исследований и технологических испытаний использовались для построения минералого-геохимических и минералого-технологических разрезов техногенных железорудных залежей, для подсчета ресурсов железорудного сырья. Последние для заполненной части хвостохранилища составили около 8,2 млн. т при среднем содержании железа в составе лежалых хвостов 20,4 мас.%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Белевцев Я.Н.** Железные руды Криворожского железорудного бассейна // Киев: Изд. АН УССР, 1955.– 288 с.

2. **Евтехов В.Д.** Альтернативная минерально-сырьевая база железорудных месторождений Кривбасса / Разработка рудных месторождений // Кривой Рог: Криворожский технический университет, 1997.– С. 121-125.

3. **Лазаренко Е.К., Гершойг Ю.Г., Бучинская Н.И. и др.** Минералогия Криворожского бассейна // Киев: Наукова думка, 1977.– 544 с.

4. **Пирогов Б.И., Поротов Г.С., Холошин И.В., Тарасенко В.Н.** Технологическая минералогия железных руд // Ленинград: Наука, 1988.– 302 с.

#### **ЄВТЕХОВ В.Д., ЄВТЕХОВ Є.В., ФІЛЕНКО В.В., ЄВТЕХОВА А.В., ТІХЛІВЕЦЬ С.В., ПЕТРУХІН А.В., ГЕОРГІЄВА О.П.** Прикладна мінералогія гематит-вмісних відходів збагачення залізних руд Жовторіченського родовища.

*Резюме.* Лежалі хвості балки Роздери являють собою дрібнозернисті відходи збагачення магнетитових кварцитів Жовторіченського родовища. Для визначення можливості їх відпрацювання й повторного використання були проведені геологорозвідувальні роботи в межах заповненої частини хвостосховища. Результати комплексного вивчення матеріалу 352 проб хвостів, відібраних з керну розвідувальних свердловин, показали, що за мінеральним, хімічним, гранулометричним складом хвостів є кондиційною залізорудною сировиною. За даними технологічних експериментів, найбільш ефективним є гравітаційний метод повторного збагачення хвостів. Ресурси їх у межах розвіданої частини хвостосховища становлять близько 8 млн. т.

**Ключові слова:** залізисто-кремніста формація, Криворізький басейн, хвостів збагачення магнетитових кварцитів, мінералогія хвостів, повторне збагачення хвостів, ресурси вторинної залізорудної сировини.

#### **ЕВТЕХОВ В.Д., ЕВТЕХОВ Е.В., ФИЛЕНКО В.В., ЕВТЕХОВА А.В., ТИХЛИВЕЦ С.В., ПЕТРУХИН А.В., ГЕОРГИЕВА Е.П.** Прикладная минералогия гематит-содержащих отходов обогащения железных руд Желтореченского месторождения.

*Резюме.* Лежалые хвосты балки Раздери представляют собой мелкозернистые отходы обогащения магнетитовых кварцитов Желтореченского месторождения. Для определения возможности их отработки и повторного использования были проведены геологоразведочные работы в границах заполненной части хвостохранилища. Результаты комплексного изучения материала 352 проб хвостов, отобранных из керна разведочных скважин, показали, что по минеральному, химическому, гранулометрическому составу хвосты являются кондиционным железорудным сырьем. По данным технологических экспериментов, наиболее эффективным является

ся гравитационный метод повторного обогащения хвостов. Ресурсы их в границах разведанной части хвостохранилища составляют около 8 млн. т.

**Ключевые слова:** железисто-кремнистая формация, Криворожский бассейн, хвосты обогащения магнетитовых кварцитов, минералогия хвостов, повторное обогащение хвостов, ресурсы вторичного железорудного сырья.

**EVTEKHOV V.D., EVTEKHOV E.V., FILENKO V.V., EVTEKHOVA A.V., TIKHLIVETS S.V., PETRUKHIN A.V., GEORGIIEVA O.P. Applied mineralogy of hematite-containing wastes resulted from dressing of Zhovtorichenske iron ores deposit.**

*Summary.* The stale wastes from the Rozdery gulch are fine grained wastes of processing magnetite quartzites of the Zhovtorichenske deposit. Geological exploration works have been held within the limits of the filled part of the tailing pond to define possibilities of working out and re-using stale wastes. The results of complex studies of 352 samples material of the tales collected from cores of exploratory bore holes have showed the tales to be standard quality iron ore raw material in terms of their mineral, chemical, granulometric composition. After the data of technological experiments gravitational method of tales reprocessing is the most efficient one. Resources within the explored limits of the tailing pond amount to about 8 million tons.

**Key words:** banded iron formation, the Kryvyi Rih basin, magnetite quartzites processing tales, tales mineralogy, tales reprocessing, resources of processed raw materials.

*Надійшла до редакції 15 вересня 2012 р.  
Представив до публікації професор Б.І.Пирогов.*