

# ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИЗВЛЕЧЕНИЮ И РАСКРЫТИЮ ЗОЛОТА ИЗ ПРОДУКТОВ ДРОБЛЕНИЯ КВАРЦЕВЫХ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ РУД

Е. С. Львов

Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия

**Аннотация:** Приведены результаты исследований по изучению раскрытия и извлечения золотых частиц из продуктов дробления аппарата многократного ударного действия ДКД-300. В основу работы аппарата заложен принцип разрушения кусковых геоматериалов многократным свободным ударом, благодаря чему куски дополнительно самоизмельчаются вследствие столкновения друг с другом в рабочей зоне дробления. При дезинтеграции золотосодержащих кварцевых руд месторождений «Малый Тарын» и «Гурбей» однородной и сланцевой текстуры достигается степень дробления до 8,8. При этом исследования по извлечению и раскрытию показали, что в рудах сланцевой текстуры после дробления на ДКД-300 раскрывается до 23% гравитационно-извлекаемого золота, тогда как при переработке золотосодержащих однородных кварцевых руд с крупностью золота менее 0,1 мм раскрытие золотых частиц от 19% происходит только после дополнительной стадии измельчения. Полученный результат показывает, что для кварцевых руд сланцевой текстуры возможно извлечение избирательно раскрываемых (относительно крупных) фракций золота на ранних стадиях рудоподготовки, чтобы исключить их переизмельчение. При переработке однородных кварцевых руд полнота раскрытия мелких и тонких классов золотых частиц зависит от интенсивности (циклов) измельчения.

**Ключевые слова:** дробление, дробилка, обогащение, гранулометрическая характеристика, извлечение, измельчение, гравитационное обогащение, золото.

**Для цитирования:** Львов Е. С. Исследования по извлечению и раскрытию золота из продуктов дробления кварцевых золотосодержащих руд // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2021. – № 12-1. – С. 129–138. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_129.

## Gold dissociation and recovery from crushed gold-bearing quartz ore

E. S. Lvov

Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, RAS, Yakutsk, Russia

**Abstract:** The article describes the research findings on gold dissociation and recovery from output of impact crusher DKD-300. The mode of these machines includes multiple free impacts of ore particles with following additional self-milling when they collide along intersecting paths in the operating area of crushing. Disintegration of gold-bearing quartz ore from the Maly

Taryn and Gurbey deposits, which has uniform and schistic texture, provides the reduction rate to 8.8. The dissociation and recovery analysis shows that crushing of schistic texture ore in DKD-300 dissociates up to 23 % of gravity-concentratable gold, while in case of uniform-texture gold-bearing quartz ore with gold size smaller than 0.1 mm, dissociation of gold up to 19 % is only achievable after additional stage of grinding. This result implies that quartz ore of schistic texture is suitable for selective dissociation and recovery of large-size gold particles at the early stages of pretreatment and without overgrinding. In case of uniform-texture quartz ore, completeness of dissociation of fine gold depends on the rate (cycles) of milling.

**Key words:** crushing, crusher, processing, grain size distribution, recovery, milling, gravity concentration, gold.

**For citation:** Lvov E. S. Gold dissociation and recovery from crushed gold-bearing quartz ore. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12-1):129–138. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236\_1493\_2021\_121\_0\_129.

## Введение

Оптимизация процессов обогащения минералов требует знания того, как ценные минералы распределяются в частицах других связанных минералов. При переработке полезных ископаемых степень выделения ценного минерала из пустой породы определяет экономическую эффективность и эффективность последующих процессов разделения [1, 2].

Извлечение ценных минералов из нежелательной породы (пустой породы) возможно только в том случае, если минеральные зерна, которые должны быть отделены, существуют в виде выделенных свободных частиц. По мере того как качество месторождений полезных ископаемых уменьшается, ценные минералы часто появляются в виде мелкодисперсных зерен в вмещающей породе (руде). Освобождение достигается путем дробления и измельчения их до небольших размеров. По причине уменьшения размера частиц, необходимого для надлежащего высвобождения, неизбежен чрезмерный помол, который влечет за собой переизмельчение полезного минерала [3, 4].

Экспериментальные и теоретические исследования, а также большой опыт перерабатывающих производств позволяют прийти к выводу, что физи-

ческой основой, говорящей об эффективной организации процессов дробления и измельчения применительно к области обогащения руд, является селективность дезинтеграции. Процесс селективного раскрытия руд в значительной мере зависит от эффективности предварительного разупрочнения границ срастания рудных и нерудных компонентов. На основе анализа применяемых способов дробления и измельчения на стадии рудоподготовки можно утверждать, что для обогащения полезных ископаемых наиболее подходящим по физической организации процесса разрушения, приводящего к селективности дезинтеграции, является способ, использующий ударное дробление [5–7].

При этом разделение минерала и пустой породы сильно зависит от размера частиц обработанной руды. Тонкие и пылевидные частицы золотин трудноуловимы и зачастую выносятся из процесса обогащения вместе с пустой породой. Улавливание как слишком мелких, так и слишком крупных частиц, выходящих за пределы этого оптимального диапазона размеров, невелико. По этой причине для удовлетворительного общего извлечения необходимо тщательно контролировать размер перерабатываемых частиц [8, 9].

**Экспериментальные исследования по извлечению и раскрытию золотых частиц из продуктов ударного дробления золотосодержащих кварцевых руд однородной и слоистой текстуры**

В качестве аппарата с ударным методом дробления использовалась дробилка многократного ударного воздействия ДКД-300, разработанная сотрудниками ИГДС СО РАН. В основу работы дробилки заложен принцип разрушения кусковых геоматериалов многократным свободным ударом, благодаря чему куски дополнительно самоизмельчаются вследствие столкновения друг с другом в рабочей зоне дробления [10–12].

Исследования по определению особенностей раскрытия и извлечения ценного компонента (золота) из продуктов дробления аппарата многократно-ударного воздействия ДКД-300 проводились на золотосодержащих рудах месторождений «Малый Тарын» и «Гурбей».

Исходный материал для испытаний из руд месторождения «Малый Тарын» был представлен крупнообъемными пробами общей массой 8 т. Пробы Мало-Тарынского золоторудного месторождения по вещественному составу представляют собой песчанистые алевролиты, аргиллиты, тектониты; жильный сливной кварц — кальцитового состава, лимонизированный по трещинам.

Результаты исследований даются в сравнении с аналогичными исследованиями, проведенными с рудными пробами месторождения «Гурбей». Руда месторождения «Гурбей» представлена метаморфическими сланцами различного состава (преобладают биотит-кварцевые) с вкрапленной сульфидной минерализацией. Минерализация представлена сульфидными минера-

лами: пирротином (2,89%) и пиритом (0,94%), а также титансодержащими соединениями, преимущественно ильменитом (1,98%). В незначительном количестве (0,15% в сумме) присутствуют гидроксиды железа, халькопирит и сфалерит. Коэффициент крепости исследуемой руды по шкале Протодьяконова составил 6,16, что позволяет отнести руду к категории «довольно крепкие породы».

Для каждой пробы были разработаны технологические схемы переработки. Единая схема представлена на рис. 1, в ней задействованы: дробилка комбинированного ударного действия ДКД-300, центробежный измельчитель ЦМБУ-800 и пневматический сепаратор ПОС-2000. Для отработки пробы и для выделения тяжелых фракций использовалось стандартное лабораторное оборудование: концентрационный стол СКО-0,5, анализатор минералов «Мозли», грохот ГВ-06 механические сита, анализаторы гранулометрического состава, бромформ и т.д. Схема предусматривает полный цикл обработки проб с выделением и получением свободного золота и отбором проб для минералогического и пробирного анализа продуктов разделения.

Исследования по дезинтеграции представленных руд проводились по технологической схеме обогащения (рис. 1) с дроблением фракций +12 мм. В ходе работы установлено, что для данного количества пробы достаточно двух циклов дробления на дробилке ДКД-300. Результаты гранулометрического анализа продуктов дробления ДКД-300 представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что для обеих представленных руд при первом цикле достигается наибольшая степень дробления, составляющая 8,80. На вто-

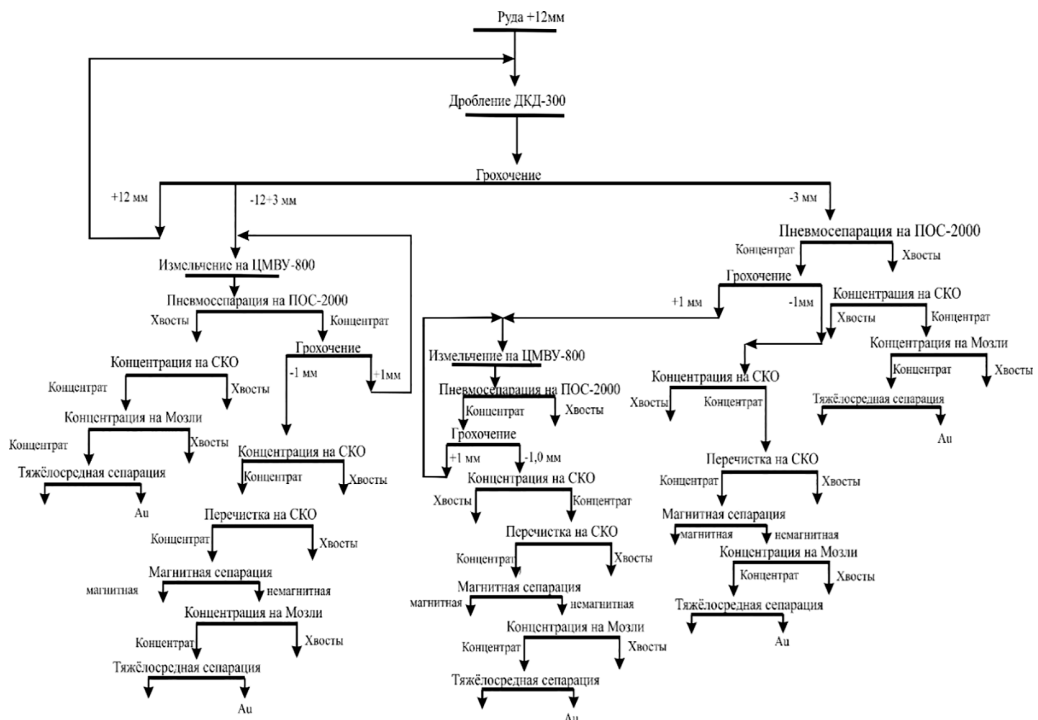


Рис. 1. Схема обогащения продуктов дробления ДКД-300  
 Fig. 1. Scheme of enrichment of crushing products DKD-300

Таблица 1

Гранулометрические составы продуктов дробления ДКД-300  
 Granulometric compositions of crushing products DKD-300

Класс крупности, мм	Выход, %					
	Руда «Малый Тарын»			Руда «Гурбей»		
	Исходная руда	Продукты дробления 1 цикл	Продукты дробления 2 цикл	Исходная руда	Продукты дробления 1 цикл	Продукты дробления 2 цикл
+100	29,76	—	—	15,44	—	—
-100+40	22,14	3,00	—	21,42	—	—
-40+20	15,06	5,42	4,76	16,16	10,78	7,94
-20+10	10,18	23,55	25,47	10,91	19,85	29,60
-10+5	5,55	20,53	36,15	5,09	15,25	15,47
-5+2	6,31	20,82	24,01	7,53	20,73	20,46
-2+1	4,16	9,33	3,15	4,00	9,67	8,00
-1+0,5	2,27	7,15	2,44	3,19	7,46	5,46
-0,5+0,315	1,40	2,77	0,98	1,88	3,71	2,58
-0,315+0,1	2,04	5,31	2,16	5,76	7,35	6,03
-0,1 +0,071	0,51	1,32	0,49	2,64	2,27	2,21
-0,071	0,63	0,78	0,38	5,98	2,93	2,25
Степень дробления		8,8	1,9		8,4	2,28

рой цикл дробления поступают всего три класса крупности:  $-20+10$  мм,  $-40+20$  мм,  $+40$  мм (недробленный продукт после первого цикла — основа циркуляционной нагрузки), что составляет 31,97% и 30,63% от общей массы дробленого продукта. Вследствие этого показатель степени дробления второго цикла для кварцевой руды однородной текстуры месторождения «Малый Тарын» уменьшается до 1,9, падает качество дробления, что видно по гранулометрическому составу. В отличие от биотит-кварцевых руд сланцевой трещиноватой текстуры месторождения «Гурбей», где степень дробления падает до 2,28, гранулометрические составы продуктов дробления первого и второго циклов достаточно близки, что показывает эффективность дробления на дробилке ДКД-300 для данной руды.

В результате обработки продуктов обогащения с выделением свободного золота доводочными операциями (табл. 2) и анализа гранулометрического состава извлеченного золота было обнаружено, что при обогащении продуктов дробления биотит кварцевых сланцев месторождения «Гурбей» наибольшее количество золота находилось в свободном виде. Далее, по мере раскрытия золота дроблением и измельчением по циклам, количество извлекаемого свободного золота заметно убывает, что свидетельствует о достаточном избирательном раскрытии золота, зависящего от крупности и характера вкрапленности золота в руде (локализация нахождения частиц золота в трещиноватой ослабленной текстуре рудной матрицы).

При этом крупность извлеченных зерен золота  $-1+0,1$ мм по мере последовательного поциклового вскрытия дроблением и измельчением убывает. Крупные фракции золота выделены

при обогащении рудной мелочи и продуктов дробления ДКД-300 без измельчения.

Другой результат получился при обогащении продуктов дробления золотосодержащих жильных кварцевых руд месторождения «Малый Тарын». Во-первых, при обработке руды в рудной мелочи ( $-1$  мм) доля свободного золота составила 31,4% от общей массы всего извлеченного свободного золота по сравнению с тем, что в руде месторождения «Гурбей» было 50,41%. Во-вторых, в минусовых продуктах первичного дробления ДКД-300 ( $-1$  мм) не обнаружены частицы свободного золота, когда в руде месторождения «Гурбей» уже на стадии дробления уровень вскрытия составляет 23,4%. Только при доизмельчении продуктов дробления ДКД-300 руды месторождения «Малый Тарын» происходит вскрытие золота. Для крупнозернистых фракций  $+1$  мм оно составляет 15,6%, а для мелких фракций крупностью  $-1$  мм дополнительно раскрывается 4% золота. В-третьих, по мере последовательных циклов измельчения класса  $-12+3$  мм (после дробления) в центробежном измельчителе ЦМВУ-800, выход (извлечение) свободных золотых частиц снижается не так резко, как в случаях с рудой месторождения «Гурбей». После первого цикла измельчения освобождается 14%, после второго — 2,79%, после третьего — 1,36%, тогда как после первого цикла измельчения руды «Малый Тарын» раскрывается 19,6%, после второго цикла — 11,7%, после третьего цикла — 7,8%. Таким образом, для руд месторождения «Малый Тарын» раскрытие происходит при более глубоком измельчении, что связано с бедностью и гранулометрическим составом свободного золота в руде. Гранулометрический анализ извлеченного золота показал, что круп-

Таблица 2

**Выход извлеченного золота из золотосодержащих руд месторождений «Малый Тарын» и «Гурбей»****The output of extracted gold from the gold-bearing ores of the Maly Taryn and Gurbey deposits**

Продукты обогащения	Выход, %	
	«Малый Тарын»	«Гурбей»
Рудная мелочь класс –1 мм	31,4	50,41
Продукты дробления ДКД-300 –1 мм	–	23,40
Продукты измельчения ЦМВУ продуктов дробления ДКД-300 –1 мм	4	–
Продукты измельчения ЦМВУ продуктов дробления ДКД-300 +1 мм	15,6	7,22
Продукты измельчения –12+ 3 мм 1 цикла	19,6	14,00
Продукты измельчения –12+ 3 мм 2 цикла	11,7	2,79
Продукты измельчения –12+ 3 мм 3 цикла	7,8	1,36
Продукты измельчения –12+ 3 мм 4 цикла	–	0,27
Хвосты пневмосепарации продуктов измельчения –12+3мм	4	0,17
Хвосты пневмосепарации продуктов дробления –3мм	4	0,38
Хвосты пневмосепарации рудной мелочи класс –1 мм	1,9	–

ность основной массы зёрен составляет более 0,1 мм.

Для изучения характера раскрытия либо нахождения полезного компонента (золота) с размером частиц менее 0,1 мм из кварцевой руды при ударном дроблении в дробилке ДКД-300, использовался автоматизированный минералогический анализ на сканирующем электронном микроскопе TESCAN TIMA. Для этого подготовили две пробы из хвостов обогащения золотосодержащей руды месторождения «Гурбей». Проба № 1 представляет собой хвосты концентрационного стола Мозли после повторной перемешки концентрата концентрационного стола СКО-0,5 продуктов разрушения золотосодержащей руды в дробилке ДКД-300 классом крупности –1 мм. Проба № 2 представляет собой хвосты концентрационного стола Мозли, концентрата концентрационного стола СКО-0,5 продуктов разрушения золотосодержащей руды в дробилке ДКД-300 классом крупности –1 мм. Пробы отличаются

друг от друга по содержанию остаточного мелкого и нераскрытого золота, определяемым проведенными операциями перемешки (концентрации).

Характеристика обнаруженных зерен золота в пробе № 1 представлена в табл. 3. Из таблицы видно, что основная половина массы найденных зерен золота приходится на размер от 92 до 123 мкм и составляет 50,43%, при этом таких зерен всего два. На оставшиеся 290 зерен приходится менее 50% массы. При этом наибольшее количество зерен приходится на размерность от 1,2 до 1,6 мкм и составляет 70 зерен, и это 0,25% от общей массы обнаруженных зерен.

Из табл. 4 видно, что в пробе № 2 заметно меньшее количество золотых зерен (41 зерно), к тому же максимальная размерность их приходится на диапазон от 23 до 43 мкм (1 зерно) и составляет 63% от общей массы обнаруженных в пробе золотых зерен.

Дальнейшей и основной задачей исследований являлось определение

Таблица 3

**Распределение обнаруженных зёрен золота пробы № 1**  
**Distribution of detected gold grains of sample No. 1**

Диапазон размеров зерен, мкм	Количество зерен золота	Массовая доля золота, масс. %
≥0,90<1,2	37	0,06
≥1,2<1,6	70	0,25
≥1,6<2,1	28	0,19
≥2,1<2,9	42	0,52
≥2,9<3,8	21	0,45
≥3,8<5,1	23	0,75
≥5,1<6,8	25	1,83
≥6,8<9,1	13	1,51
≥9,1<12	10	2,14
≥12<16	7	2,77
≥16<22	4	2,62
≥22<29	4	4,67
≥29<39	2	4,25
≥39<52	2	9,32
≥52<69	1	7,36
≥69<92	1	10,89
≥92<123	2	50,43
итого	292	100,00

Таблица 4

**Распределение обнаруженных зёрен золота пробы № 2**  
**Distribution of detected gold grains of sample No. 2**

Диапазон размеров зерен, мкм	Количество зерен золота	Массовая доля золота, масс. %
≥0,90<1,7	12	0,7546
≥1,7<3,3	7	1,3875
≥3,3<6,2	16	11,5703
≥6,2<12	3	8,2591
≥12<23	2	15,0089
≥23<43	1	63,0196
итого	41	100

Таблица 5

**Раскрытие золота**  
**Disclosure of gold**

Диапазоны степени раскрытия по площади свободной поверхности, %	Массовая доля золота, масс. %	
	Проба № 1	Проба № 2
<10	0,7015	92,8821
≥10<20	21,6381	0
≥20<30	47,2055	0
≥30<40	7,77	0

Окончание табл. 5

Диапазоны степени раскрытия по площади свободной поверхности, %	Массовая доля золота, масс. %	
	Проба № 1	Проба № 2
≥40<50	0	0,3115
≥50<60	0	0
≥60<70	21,7692	0
≥70<80	0	0
≥80<90	0,6806	5,3523
≥90	0,2351	1,4541
Итого	100	100

раскрытия золотых зерен в хвостах обогащения продуктов разрушения ударной дробилки ДКД-300. Для этого анализировалась степень раскрытия золота, которая вычислялась по площади свободной поверхности (доля площади, занимаемой интересующим минералом в пределах частицы по отношению к общей площади частицы, в процентах). Здесь «площадь» — это видимая площадь на аншлифе. В табл. 5 видно, сколько полезного минерала высвобождается в каждом диапазоне степени раскрытия. Если золото всех трех реплик пробы № 1 принять за 100% массы, то большая часть золота будет раскрыта на 40% и меньше. Во второй пробе значительная часть обнаруженных золотых зерен 92,88%, имеет лишь 10% площади свободной поверхности. Зерна со свободной площадью более 90% составляют всего 0,23% для первой пробы и 1,45% для второй пробы.

### Заключение

Экспериментально установлено, что при дезинтеграции золотосодержащих сланцевых руд многократными динамическими воздействиями на дробилке комбинированного ударного действия ДКД-300 раскрывается до 23% гравитационно-извлекаемого золота, что является основанием для разработки технологических схем с развитой системой обогащения на ранних стадиях рудо-

подготовки. При переработке золотосодержащих однородных кварцевых руд с крупностью золота менее 0,1 мм дальнейшее обогащение возможно только после дополнительной стадии измельчения, при которой происходит раскрытие золотых частиц от 19%. Исследованиями, проведенными с использованием электронного микроскопа ТЕСКАН с системой анализа ТИМА при дезинтеграции золотосодержащей сланцевой руды биотит-кварцевого состава в дробилке ДКД-300, использующей принцип многократного ударного воздействия, показано, что в продуктах дробления частицы золота <100 мкм раскрываются частично и сохраняют связанность в ассоциации с вмещающими минеральными компонентами руды.

Проведенные исследования показали, что для руд обоих месторождений наибольшее количество извлеченного золота приходится на свободное золото, находящееся в исходной рудной мелочи, что свидетельствует об избирательности раскрытия золота из рудной массы на ранних стадиях добычи (взрыва) и предварительного крупнокускового дробления. Для руд месторождения «Малый Тарын», имеющего большую долю тонкого и мелкого золота, характерно раскрытие только после последовательного циклического измельчения. Можно также предположить, что степень избирательности



раскрытия зависит от текстуры руды. В отличие от золотосодержащих биотит-кварцевых руд сланцевой трещиноватой текстуры месторождения

«Гурбей», кварцевые руды однородной текстуры месторождения «Малый Тарын» отличаются меньшей степенью избирательности раскрытия.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газалеева Г. И., Цыпин Е. Ф., Червяков С. А. Рудоподготовка. Дробление, грохочение, обогащение. — Екатеринбург: ООО «УЦАО», 2014. — 914 с.
2. Lessard J., Sweetser W., Bartram K., Figueroa J., and McHugh L. Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit, *J. Min. Eng.*, 2015, Vol. 91. — P. 92–99.
3. Уракаев Ф. Х., Шумская Л. Г., Кириллова Е. А., Кондратьев С. А. Совершенствование технологии тонкого измельчения техногенного сырья на основе его дозированного стадийного разрушения // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 5. — С. 165–174.
4. Perez J. P. H., Folens K., Leus K., Vanhaecke F., Van Der Voort P., and Laing G. D. Progress in hydrometallurgical technologies to recover critical raw materials and precious metals from low-concentrated streams, *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol. 142 (March). — P. 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.029>.
5. Чантурия В. А., Козлов А. П. Развитие физико-химических основ и разработка инновационных технологий глубокой переработки техногенного минерального сырья // Горный журнал. — 2014. — № 7. — С. 79–84.
6. Gorain K. Innovative Process Development in Metallurgical Industry//Physical Processing: Innovations in Mineral Processing. — 2015. — pp. 9–65.
7. Юсупов Т. С. Совершенствование процессов раскрытия минеральных сростков при освоении труднообогатимых объектов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2016. — № 3. — С. 143–149.
8. Gong D., Nadolski S., Sun C., Klein B., and Kou J. The effect of strain rate on particle breakage characteristics, *Powder Technology*, 2018, Vol. 339 (November). — P. 595–605. DOI: 10.1016/j.powtec.2018.08.020.
9. Мамонов С. В., Закирничный В. Н., Метелев А. А., Дресвянкина Т. П., Волкова С. В., Кузнецов В. А., Зиятдинов С. В. Перспективные технологии раскрытия минерального сырья при подготовке к флотационному обогащению// Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2019. — № 5. — С. 158–169.
10. Львов Е. С., Матвеев А. И. Изучение формирования гранулометрического состава и раскрытия минералов при дроблении руд с использованием дробилки многократного динамического действия ДКД-300// Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 10. — С. 112–116.
11. . Львов Е. С. Определение особенностей дезинтеграции кусковых геоматериалов в процессе дробления с использованием динамических воздействий // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2018. — № 11. — С. 154–160.
12. Матвеев А. И., Львов Е. С. Разработка методики определения степени дезинтеграции геоматериалов в процессе многократного ударного дробления // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2020. — № 2. — С. 137–143. **PLAG**

## REFERENCES

1. Gazaleeva G. I., Tsy-pin E. F., Chervyakov S. A. *Rudopodgotovka. Droblenie, grohochenie, obogashchenie* [Ore preparation. Crushing, screening, enrichment]. Ekaterinburg: LLC UCAO, 2014. 914 p. [In Russ]

2. Lessard J., Sweetser W., Bartram K., Figueroa J., and McHugh L. Bridging the gap: Understanding the economic impact of ore sorting on a mineral processing circuit, *J. Min. Eng.*, 2015, Vol. 91. pp. 92 – 99.

3. F. Kh. Urakaev, L. G. Shumskaya, E. A. Kirillova, S. A. Kondrat'ev Improving the technology of fine grinding of technogenic raw materials on the basis of its dosed stage destruction. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2020. no. 5. pp. 165 – 174. [In Russ]

4. Perez J. P. H., Folens K., Vanhaecke F., Van Der Voort P., and Laing G. D. Progress in hydrometallurgical technologies to recover critical raw materials and precious metals from low-concentrated streams, *Resources, Conservation and Recycling*, 2019, Vol. 142 (March). pp. 177–188. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.11.029>.

5. Chanturia V. A., Kozlov A. P. Development of physical and chemical foundations and development of innovative technologies for deep processing of technogenic mineral raw materials. *Gornyi Zhurnal*. 2014. no. 7. pp. 79 – 84. [In Russ]

6. K. Gorain Innovative Process Development in Metallurgical Industry//Physical Processing: *Innovations in Mineral Processing*. 2015. pp. 9 – 65.

7. Yusupov T. S. Improving the processes of opening mineral aggregates during the development of refractory objects. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2016. no. 3. pp. 143 – 149. [In Russ]

8. Gong D., Nadolski S., Sun C., Klein B., and Kou J. The effect of strain rate on particle breakage characteristics, *Powder Technology*, 2018, Vol. 339 (November). pp. 595 – 605. DOI: 10.1016/j.powtec. 2018.08.020.

9. S. V. Mamonov, V. N. Zakirnichny, A. A. Metelev, T. P. Dresvyankina, S. V. Volkova, V. A. Kuznetsov, S. V. Ziyatdinov to flotation enrichment. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2019. no. 5. pp. 158 – 169. [In Russ]

10. Lvov E. S., Matveev A. I. The study of the formation of particle size distribution and the opening of minerals during crushing of ores using a crusher of multiple dynamic action DKD-300. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014. no. 10. pp. 112 – 116. [In Russ]

11. Lvov E. S. Determination of the features of disintegration of lumpy geomaterials in the process of crushing with the use of dynamic influences. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018. no. 11. pp. 154 – 160. [In Russ]

12. Matveev AI, Lvov ES Development of a method for determining the degree of disintegration of geomaterials in the process of multiple shock crushing. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2020. no. 2. pp. 137 – 143.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Львов Евгений Степанович – мл. научный сотрудник лаб. ОПИ, [lvoves@bk.ru](mailto:lvoves@bk.ru), Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43.

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lvov E.S., Junior Researcher, [lvoves@bk.ru](mailto:lvoves@bk.ru), Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, RAS, Republic of Sakha (Yakutia) Yakutsk, Lenin ave. 43, 677980.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 02.11.2021; принята к печати 10.11.2021.

Received by the editors 18.07.2021; received after the review 02.11.2021; accepted for printing 10.11.2021.