

УДК 622.7

**ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ СВИНЦОВО-ЦИНКОВОЙ РУДЫ  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШАЛКИЯ**

**Ш. А. Телков<sup>1</sup>, И. Ю. Мотовилов<sup>1</sup>, М. Б. Барменшинова<sup>1</sup>,  
Н. Л. Медяник<sup>2</sup>, Г. С. Даруеш<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
ул. Сатпаева, 22, 050013, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,  
E-mail: chem@magtu.ru, просп. Ленина, 38, 455000, г. Магнитогорск, Россия

Представлены результаты исследований гравитационного обогащения свинцово-цинковой руды месторождения Шалкия. С помощью фракционного анализа рассчитаны и построены кривые обогатимости типа Анри–Рейнгардта для машинного класса крупности 40–8 мм. Определены плотность разделения, необходимая для выделения легкой фракции, с минимально возможными потерями свинца и цинка, а также индексы гравитационной обогатимости. Установлено, что при гравитационном обогащении крупнокусковой руды в голове технологического процесса выделяются хвосты, с которыми удается извлекать двуокиси кремния, кальцита, углистого вещества. Потери свинца и цинка незначительные. Показано, что обогащение дробленной крупнокусковой руды необходимо осуществлять в тяжелых средах.

*Свинец, цинк, фракционный анализ, кривые обогатимости типа Анри–Рейнгардта, индекс гравитационной обогатимости, легкая фракция, тяжелая фракция*

DOI: 10.15372/FTPRP120190312

Существенные изменения в современном состоянии сырьевой базы цветной металлургии Республики Казахстан, произошедшие в последние 20–25 лет, заключаются в том, что в переработку вовлекаются тонковкрапленные, упорные и труднообогащаемые руды, а также металлоколлоидные руды, в которых содержание металлов соответствует отвалному типу руд. Кроме того, необходимо учитывать, что введение в эксплуатацию новых месторождений происходит, как правило, в неосвоенных районах, в условиях дефицита рабочей силы, воды и других ресурсов.

Переработка указанного типа руд в ряде случаев делает невозможным получение селективных концентратов с высокими технологическими показателями по качеству и извлечению металлов в одноименные концентраты [1]. Необходима разработка эффективных, доступных и высокопроизводительных процессов, которые при сравнительно невысоких капитальных и эксплуатационных затратах могут быть внедрены на месте добычи руд.

Один из возможных путей по улучшению качества минерального сырья и технологических показателей переработки — применение предконцентрации исходной руды с помощью процессов гравитационного обогащения. Использование различных методов предконцентрации

позволяет вывести из процесса переработки часть пустой породы, а также вредные примеси, за счет чего повышается качество исходного сырья как по содержанию ценных металлов, так и по вещественному составу руды [2].

Удаление пустой породы в голове процесса улучшает условия последующих операций по разделению минералов, а также способствует уменьшению эксплуатационных затрат на дробление, измельчение и флотацию [3, 4]. Предконцентрацию исходной руды можно рассматривать не только как процесс удаления пустой породы и улучшения качества руды, но и как возможность вовлечения в переработку забалансовых руд и техногенного сырья с низким содержанием металлов, что в свою очередь позволяет увеличить запасы руд действующих горно-обогатительных предприятий.

Свинцово-цинковые руды месторождения Шалкия относятся к категории труднообогатимых, но, учитывая значительные запасы данного типа руд, их включают в перспективные объекты для производства свинца и цинка. Содержание металлов в месторождении, которые представляют промышленный интерес, составляет ~4.5%, где доля цинка находится в пределах 70–80% и свинца 20–30%, т. е. данное месторождение можно отнести к категории бедных.

Рудообразующие минералы представлены главным образом свинцом, цинком и железом. Руды месторождения Шалкия имеют относительно простой вещественный состав, но из-за очень тонкой 0–20 мкм вкрапленности минералов галенита, сфалерита и пирита, их тесного взаимопрорастания между собой и породообразующими минералами, наличия ультратонких углеродистых веществ до 5% С, а также легкоизмельчающихся минералов кальцита наряду с трудноизмельчаемыми окремненными доломитами до 50% SiO<sub>2</sub>, характеризуются как труднообогатимые [5, 6].

По результатам проведенных исследований для переработки руд месторождения Шалкия рекомендована селективная схема флотационного обогащения с получением свинцового и цинкового концентратов [7–9]. Однако особенности вещественного состава руды не позволяют по данной схеме получить качественные концентраты свинца и цинка с высоким извлечением металлов.

Необходимо проведение дополнительных исследований по изучению возможности предварительного гравитационного обогащения дробленной крупнокусковой широко классифицированной руды месторождения Шалкия с последующей флотационной переработкой продуктов гравитационного обогащения. Технологические исследования выполнялись на пробах руды, которые по вещественному, химическому составу и по содержанию свинца 0.7–1.0% и цинка 3.6–3.8% соответствовали рудам указанного месторождения.

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Проба руды месторождения Шалкия дробилась в замкнутом цикле с предварительным и поверочным грохочением до крупности 40 мм. Дробленая руда подвергалась проборазделке с отбором представительных проб для выполнения химических, ситовых и фракционных анализов. Для определения гранулометрического состава использовался набор сит с размерами отверстий 40, 20, 13, 10, 8, 5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16 и 0.074 мм. Ситовой анализ выполнялся путем отсева руды на классы крупности сухим способом. Полученные классы крупности взвешивались, дробились, измельчались и отбирались навески руды для проведения химических анализов с определением содержаний свинца, цинка, кварца, оксида кальция и углерода.

Определение гравитационной обогатимости и технологических условий обогащения дробленной широко классифицированной руды осуществлялось фракционным анализом. При изучении фракционного состава использовалась неорганическая тяжелая жидкость М-45 (BaJ<sub>2</sub> CdJ<sub>2</sub>) с исходной плотностью 2950 кг/м<sup>3</sup>, которая растворялась водой для приготовления раствора необходимой плотности. Фракционный анализ проводился на классах крупности 40–20, 20–13, 13–8, 8–2.5, 2.5–0.63

и 0.63–0 мм, путем расслоения проб на приготовленных растворах тяжелой жидкости М 45 плотностью 2650, 2700, 2750, 2850 и 2950 кг/м<sup>3</sup>. Каждая навеска руды последовательно расслаивалась в каждой плотности тяжелой жидкости, начиная с самой высокой, с выделением всплывшей и потонувшей фракции. Полученные фракции плотности всех классов крупности анализировались на содержание в них свинца, цинка, диоксида кремния, оксида кальция и углерода [10, 11].

На основании данных о массе фракций и содержании элементов составлялись таблицы фракционного состава, по которым строились кривые обогатимости для каждого класса крупности. По этим кривым находилась плотность разделения, соответствующая требуемому содержанию металлов в легкой фракции. По данным фракционного анализа и кривым обогатимости рассчитывался индекс гравитационной обогатимости для каждого класса крупности и выявлялся возможный диапазон совместно обогащаемых классов [12–15]. Индекс обогатимости характеризует категорию гравитационной обогатимости руды — легкая, средняя, трудная и очень трудная. На основании категории гравитационной обогатимости выдается рекомендация по выбору процесса обогащения руды с учетом его эффективности.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По результатам химических анализов содержание ценных компонентов в исходной руде составило: свинца — 0.81, цинка — 3.65, меди — 0.014, железа — 2.41, серы — 3.13 %. Пустая порода представлена оксидами: кремния — 48.93, кальция — 10.95, алюминия — 1.61, магния — 7.30 и углерода — 6.10%. Гранулометрический состав с распределением содержаний свинца, цинка, диоксида кремния, оксида кальция и углерода по классам крупности приведен в табл. 1. Содержание свинца и цинка в исследуемой пробе руды соответственно равно 0.75 и 3.47 %.

ТАБЛИЦА 1. Ситовой состав крупностью 40–0 мм, %

| Выход по диапазонам крупности | Содержание элементов и соединений |      |                  |       |      | Извлечение элементов и соединений |        |                  |        |        |  |
|-------------------------------|-----------------------------------|------|------------------|-------|------|-----------------------------------|--------|------------------|--------|--------|--|
|                               | Pb                                | Zn   | SiO <sub>2</sub> | CaO   | C    | Pb                                | Zn     | SiO <sub>2</sub> | CaO    | C      |  |
|                               | Крупность 40–20 мм                |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 22.74                         | 0.58                              | 2.81 | 46.71            | 12.79 | 6.25 | 17.55                             | 18.41  | 21.40            | 26.91  | 23.73  |  |
|                               | Крупность 20–13 мм                |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 22.86                         | 0.69                              | 3.17 | 50.76            | 12.17 | 5.66 | 20.98                             | 20.88  | 23.37            | 25.74  | 21.60  |  |
|                               | Крупность 13–8 мм                 |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 19.18                         | 0.65                              | 3.29 | 51.44            | 10.61 | 5.70 | 16.56                             | 18.19  | 19.88            | 18.83  | 18.25  |  |
|                               | Крупность 8–2.5 мм                |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 11.30                         | 0.71                              | 3.62 | 52.35            | 9.83  | 5.56 | 10.65                             | 11.79  | 11.92            | 10.29  | 10.49  |  |
|                               | Крупность 2.5–1.25 мм             |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 7.18                          | 0.77                              | 3.77 | 52.44            | 9.54  | 6.31 | 7.32                              | 7.80   | 7.59             | 6.34   | 7.56   |  |
|                               | Крупность 1.25–0.63 мм            |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 5.99                          | 0.85                              | 4.21 | 52.54            | 9.63  | 6.75 | 6.74                              | 7.28   | 6.34             | 5.34   | 6.75   |  |
|                               | Крупность 0.63–0.315 мм           |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 3.11                          | 0.86                              | 4.62 | 45.53            | 7.46  | 6.44 | 3.53                              | 4.14   | 2.85             | 2.15   | 3.34   |  |
|                               | Крупность 0.315–0.16 мм           |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 2.39                          | 0.96                              | 4.37 | 44.25            | 6.86  | 6.52 | 3.02                              | 3.01   | 2.13             | 1.52   | 2.60   |  |
|                               | Крупность 0.16–0.074 мм           |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 1.68                          | 1.19                              | 6.00 | 43.66            | 6.09  | 6.45 | 2.63                              | 2.90   | 1.48             | 0.95   | 1.81   |  |
|                               | Крупность 0.074–0 мм              |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 3.57                          | 2.32                              | 5.43 | 42.24            | 5.85  | 6.49 | 11.02                             | 5.60   | 3.04             | 1.93   | 3.87   |  |
|                               | Крупность 40–0 мм                 |      |                  |       |      |                                   |        |                  |        |        |  |
| 100.00                        | 0.75                              | 3.47 | 49.63            | 10.81 | 5.99 | 100.00                            | 100.00 | 100.00           | 100.00 | 100.00 |  |

Ситовым анализом установлено, что в исследуемой пробе крупности 40–0 мм основную часть составляют первые три крупных класса с общим выходом 64.78 %, при извлечении в них свинца и цинка 57.48 и 55.09 %. Извлечение оксидов кремния, кальция и углерода — соответственно 64.65, 71.48 и 63.58 %.

В пробе руды наблюдалось значительное количество мелких классов крупности 8–0 мм, выход которых равен 35.22 %, что является высоким для руды Шалкиинского месторождения, в котором содержание диоксида кремния находится в пределах 40–50 %. Наличие относительно большого количества мелких классов, возможно, произошло при отборе и компоновке пробы на исследование. В реальных условиях количество классов менее 8 мм ниже. Полученные результаты позволили установить, что наиболее целесообразно осуществлять гравитационное обогащение на суммарном классе 40–8 мм.

Результаты анализа, демонстрирующие распределение свинца, цинка, оксидов кремния, кальция и углерода по изученным фракциям плотности в суммарных классах крупности, приведены в табл. 2.

ТАБЛИЦА 2. Фракционный состав руды, дробленной до 40 мм, %

| Плотность фракции, кг/м <sup>3</sup> | Выход  | Содержание |       |                  |       |       | Распределение |        |                  |        |        | Класс крупности, мм |
|--------------------------------------|--------|------------|-------|------------------|-------|-------|---------------|--------|------------------|--------|--------|---------------------|
|                                      |        | Pb         | Zn    | SiO <sub>2</sub> | CaO   | C     | Pb            | Zn     | SiO <sub>2</sub> | CaO    | C      |                     |
| –2650                                | 2.16   | 0.18       | 0.60  | 84.86            | 2.92  | 1.62  | 0.45          | 0.35   | 3.69             | 0.59   | 0.59   | 40–8                |
| +2650–2700                           | 8.98   | 0.39       | 1.33  | 75.61            | 7.57  | 2.69  | 4.11          | 3.18   | 13.67            | 6.29   | 4.03   |                     |
| +2700–2750                           | 22.52  | 0.62       | 2.43  | 57.67            | 10.00 | 4.91  | 16.18         | 14.55  | 26.18            | 20.85  | 18.46  |                     |
| +2750–2850                           | 24.90  | 0.59       | 3.19  | 33.54            | 16.17 | 7.95  | 17.03         | 21.12  | 16.82            | 37.30  | 33.04  |                     |
| +2850–2950                           | 3.65   | 1.50       | 7.89  | 35.33            | 12.37 | 7.26  | 6.38          | 7.66   | 2.60             | 4.18   | 4.43   |                     |
| +2950                                | 2.57   | 2.43       | 12.62 | 32.65            | 9.38  | 7.04  | 7.29          | 8.63   | 1.69             | 2.23   | 3.02   |                     |
| Итого                                | 64.78  | 0.68       | 3.22  | 49.54            | 11.91 | 5.88  | 51.44         | 55.49  | 64.65            | 71.44  | 63.57  |                     |
| –2650                                | 1.22   | 0.19       | 0.61  | 85.76            | 2.78  | 1.65  | 0.27          | 0.20   | 2.11             | 0.31   | 0.34   | 8–2.5               |
| +2650–2700                           | 2.05   | 0.48       | 1.57  | 75.86            | 5.17  | 2.68  | 1.14          | 0.86   | 3.13             | 0.98   | 0.92   |                     |
| +2700–2750                           | 3.28   | 0.61       | 2.44  | 53.58            | 10.42 | 5.40  | 2.34          | 2.13   | 3.53             | 3.16   | 2.96   |                     |
| +2750–2850                           | 3.20   | 0.62       | 3.62  | 32.42            | 15.76 | 8.10  | 2.32          | 3.06   | 2.09             | 4.68   | 4.32   |                     |
| +2850–2950                           | 0.67   | 1.42       | 8.62  | 37.62            | 10.42 | 7.10  | 1.12          | 1.54   | 0.51             | 0.65   | 0.79   |                     |
| +2950                                | 0.88   | 2.55       | 16.03 | 30.97            | 6.73  | 7.90  | 2.61          | 3.75   | 0.55             | 0.55   | 1.16   |                     |
| Итого                                | 11.30  | 0.74       | 3.84  | 52.70            | 9.87  | 5.56  | 9.80          | 11.54  | 11.92            | 10.33  | 10.49  |                     |
| –2650                                | 1.77   | 0.21       | 0.58  | 82.98            | 6.60  | 10.95 | 0.44          | 0.27   | 2.96             | 1.08   | 3.24   | 2.5–0.63            |
| +2650–2700                           | 2.64   | 0.40       | 1.23  | 77.56            | 4.90  | 2.70  | 1.24          | 0.86   | 4.12             | 1.20   | 1.19   |                     |
| +2700–2750                           | 3.71   | 0.57       | 2.21  | 49.30            | 11.11 | 5.15  | 2.47          | 2.18   | 3.69             | 3.81   | 3.19   |                     |
| +2750                                | 5.05   | 3.16       | 8.50  | 31.04            | 11.95 | 7.95  | 18.57         | 11.41  | 3.16             | 5.59   | 6.70   |                     |
| Итого                                | 13.17  | 1.48       | 4.21  | 52.49            | 9.58  | 6.51  | 22.72         | 14.72  | 13.93            | 11.68  | 14.32  |                     |
| Шлам                                 | 10.75  | 1.28       | 6.38  | 43.86            | 6.58  | 6.48  | 16.04         | 18.25  | 9.50             | 6.55   | 11.62  | 0.63–0              |
| Руда                                 | 100.00 | 0.86       | 3.76  | 49.64            | 10.80 | 5.99  | 100.0         | 100.00 | 100.00           | 100.00 | 100.00 | 40–0                |

Средневзвешенное содержание свинца и цинка составило 0.86 и 3.76 %. Состав руды, дробленной до 40 мм, показал, что во фракции с плотностью менее 2650 и 2650–2700 кг/м<sup>3</sup> из класса 40–8 мм извлекается свинца 4.56 и цинка 3.53 %. Выход данных фракций равен 11.14 % при содержании свинца 0.35 и цинка 1.19 %. Во фракции плотностью менее 2750 кг/м<sup>3</sup>, получаемой из класса 40–8 мм, содержание свинца было 0.53 и цинка 2.02 % при выходе данной фракции 33.66 %. Суммарное извлечение свинца и цинка из класса 40–8 мм составило 20.74 и 18.08 %.

Помимо цинка и свинца, в легкую фракцию с плотностью менее 2700 кг/м<sup>3</sup> извлекается 17.36 % диоксида кремния со средним содержанием кварца 77.40 %. Максимально возможное извлечение углерода при разделении машинного класса крупности 40–8 мм по плотности 2750 кг/м<sup>3</sup> составит 23.08 % с содержанием углерода 4.11 %.

На основании результатов исследований можно констатировать, что оптимальная плотность разделения для выделения легкой фракции с минимально возможными потерями, не превышающими 10 %, должна находиться в пределе 2700–2750 кг/м<sup>3</sup>.

#### ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ФРАКЦИОННОГО АНАЛИЗА

С целью определения оптимального выхода легких фракций при обогащении суммарного класса крупности 40–8 мм, а также установления необходимой плотности разделения для получения продуктов различного качества с соответствующими содержаниями свинца и цинка рассчитаны кривые обогатимости типа Анри – Рейнгардта [12–15].

Расчет кривых обогатимости по свинцу и цинку для суммарного класса крупности 40–8 мм приведен в табл. 3. Кривые обогатимости (рисунок) позволили определить критическую плотность для выделения легкой фракции и соответственно получаемые при этом технологические показатели по содержанию свинца и цинка. Показатели разделения исследуемого класса крупности 40–8 мм по различным плотностям представлены в табл. 4. Наиболее приемлемая плотность разделения для выделения легкой фракции, при которой потери в извлечении свинца и цинка не превышают 10 %, составляет 2730 кг/м<sup>3</sup>.

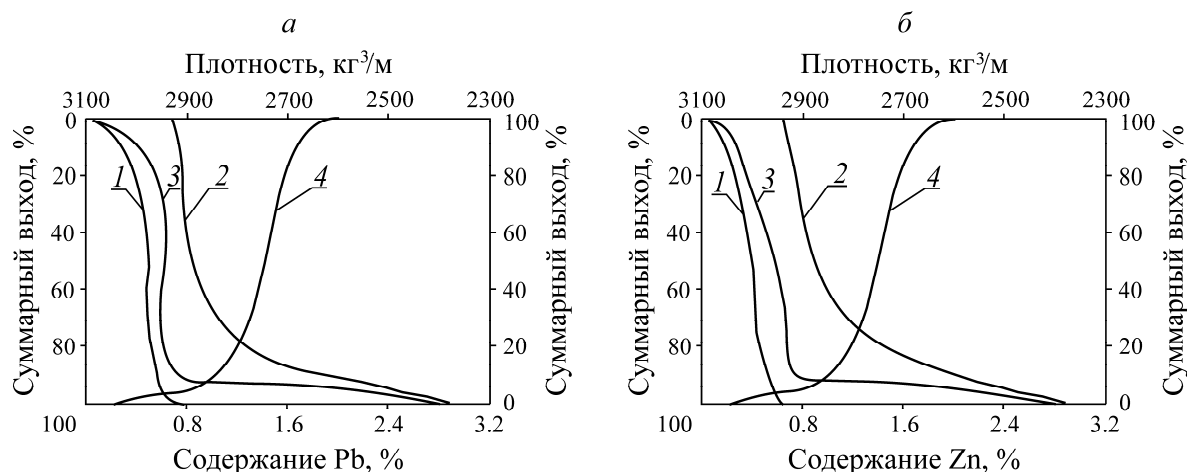
ТАБЛИЦА 3. Расчет кривых обогатимости для суммарного класса крупности 40–8 мм, %

| Плотность фракции, кг/м <sup>3</sup> | Выход  | Содержание | Производство | Всплывшие фракции |            |              | Потонувшие фракции |            |              |
|--------------------------------------|--------|------------|--------------|-------------------|------------|--------------|--------------------|------------|--------------|
|                                      |        |            |              | Выход             | Содержание | Производство | Выход              | Содержание | Производство |
| Класс 40–8 мм (по свинцу)            |        |            |              |                   |            |              |                    |            |              |
| –2650                                | 3.33   | 0.18       | 0.599        | 3.33              | 0.18       | 0.599        | 100.00             | 0.68       | 68.342       |
| 2650–2700                            | 13.86  | 0.39       | 5.405        | 17.19             | 0.35       | 6.004        | 96.67              | 0.71       | 67.774       |
| 2700–2750                            | 34.76  | 0.62       | 21.551       | 51.95             | 0.53       | 27.555       | 82.86              | 0.75       | 62.338       |
| 2750–2850                            | 38.44  | 0.59       | 22.680       | 90.39             | 0.55       | 50.235       | 48.05              | 0.85       | 40.787       |
| 2850–2950                            | 5.64   | 1.50       | 8.460        | 96.03             | 0.61       | 58.695       | 9.61               | 1.88       | 18.107       |
| +2950                                | 3.97   | 2.43       | 9.647        | 100.00            | 0.68       | 68.342       | 3.97               | 2.43       | 9.647        |
| Итого                                | 100.00 | 0.68       | 68.342       | —                 | —          | —            | —                  | —          | —            |
| Класс 40–8 мм (по цинку)             |        |            |              |                   |            |              |                    |            |              |
| –2650                                | 3.33   | 0.60       | 1.998        | 3.33              | 0.60       | 1.998        | 100.0              | 3.22       | 322.021      |
| 2650–2700                            | 13.86  | 1.33       | 18.433       | 17.19             | 1.19       | 20.431       | 96.67              | 3.31       | 320.023      |
| 2700–2750                            | 34.76  | 2.43       | 84.466       | 51.95             | 2.02       | 104.897      | 82.81              | 3.64       | 301.590      |
| 2750–2850                            | 38.44  | 3.19       | 122.523      | 90.39             | 2.52       | 227.420      | 48.05              | 4.52       | 217.124      |
| 2850–2950                            | 5.64   | 7.89       | 44.500       | 96.03             | 2.83       | 271.920      | 9.61               | 9.84       | 94.601       |
| +2950                                | 3.97   | 12.62      | 50.101       | 100.00            | 3.22       | 322.021      | 3.97               | 12.62      | 50.101       |
| Итого                                | 100.00 | 3.22       | 322.021      | —                 | —          | —            | —                  | —          | —            |

Для оценки гравитационной обогатимости суммарного (машинного) класса крупности 40–8 мм с использованием кривых обогатимости рассчитывался индекс гравитационной обогатимости:

$$I = \frac{100\gamma_{\text{л}}\gamma_{\text{т}}}{\rho_{50}(\gamma_{\text{л}} + \gamma_{\text{т}}) + 50(\gamma_{\text{л}} - \gamma_{\text{т}})},$$

где  $\rho_{50}$  — принятая плотность разделения, кг/м<sup>3</sup>;  $\gamma_{\text{л}}$ ,  $\gamma_{\text{т}}$  — выход (в %) смежных фракций с плотностью, меньшей и большей плотности разделения, на 100 кг/м<sup>3</sup> [12–15].



Кривые обогатимости класса крупности 40–8 мм: *а* — свинец; *б* — цинк; 1 — всплывшая фракция; 2 — потонувшая фракция; 3 — элементарная фракция; 4 — кривая плотности

ТАБЛИЦА 4. Показатели разделения класса крупности 40–8 мм при различной плотности, %

| Плотность<br>разделения, кг/м <sup>3</sup> | Выход<br>от руды | Содержание |      | Извлечение из руды |       |
|--|------------------|------------|------|--------------------|-------|
|  |                  | Pb         | Zn   | Pb                 | Zn    |
| 2650                                       | 2.16             | 0.18       | 0.60 | 0.45               | 0.35  |
| 2700                                       | 11.14            | 0.35       | 1.19 | 4.56               | 3.53  |
| 2720                                       | 16.91            | 0.42       | 1.40 | 8.25               | 6.29  |
| 2730                                       | 19.56            | 0.43       | 1.50 | 9.78               | 7.80  |
| 2740                                       | 25.78            | 0.50       | 1.55 | 14.98              | 10.63 |
| 2750                                       | 33.66            | 0.53       | 2.02 | 20.74              | 18.08 |

Индекс гравитационной обогатимости суммарного класса для принятой плотности разделения 2730 кг/м<sup>3</sup> составил по свинцу — 0.70, по цинку — 0.71. Полученный показатель позволяет отнести руду месторождения Шалкия к категории труднообогатимой, что также подтверждается наличием большого количества промежуточных фракций плотностью 2700–3000 кг/м<sup>3</sup>.

## ВЫВОДЫ

Основным минералом пустой породы является диоксид кремния, второстепенным — оксид кальция, среднее содержание которых в исследуемой руде составило 49.63 и 10.81 % соответственно, также присутствует углеродное вещество с содержанием углерода 5.99 %. Данные примеси отрицательно влияют на процесс флотационного обогащения руды и затрудняют получение качественных концентратов.

По результатам ситового анализа и характеру распределения компонентов по классам крупности установлено, что основным классом, который возможно подвергать процессу предварительного гравитационного обогащения, является класс крупности 40–8 мм. Фракционный состав и гравитационная обогатимость, определенные в результате выполненных исследований, позволяют отнести свинцово-цинковую руду месторождения Шалкия к категории труднообогатимых руд.

Учитывая гравитационную обогатимость руды и результаты лабораторного тестирования, рекомендуется предварительное гравитационное обогащение крупнокусковой руды месторождения Шалкия осуществлять в тяжелых суспензиях, позволяющее точно выдерживать необходимую плотность разделения 2730 кг/м<sup>3</sup> для выделения легкой фракции с минимально возмож-

ным содержанием цинка и свинца. Выделение легкой фракции в голове технологического процесса способствует улучшению качества руды, перерабатываемой в последующих операциях, по содержанию ценных металлов и вещественному составу за счет удаления части оксидов кремния, кальция и углерода.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Чантурия В. А.** Научное обоснование и разработка инновационных процессов комплексной переработки минерального сырья // Горн. журн. — 2017. — № 11. — С. 7–13.
2. **Конев А. В., Шульгина К. А., Миронова Ж. В.** Проблемы переработки руд цветных металлов и золота с предварительным обогащением // Цветные металлы–2013: сб. науч. ст. V междунар. конгр. — Красноярск: Версо, 2013. — С. 78–82.
3. **Гришин И. А., Чижевский В. Б.** Влияние конструктивных параметров гидроциклона на диаметр граничного зерна // Вестн. МГТУ им. Г. И. Носова. — 2003. — № 4 (4). — С. 35–37.
4. **Конев А. В., Шульгина К. А., Миронова Ж. В.** Повышение конкурентоспособности отечественной цветной металлургии с использованием предварительного обогащения // Цветные металлы–2013: сб. науч. ст. V междунар. конгр. — Красноярск: Версо, 2013. — С. 675–679.
5. **Штреслер К. А., Миронова Ж. В., Конев А. В., Киселева С. П.** Повышение инвестиционного потенциала месторождений руд цветных металлов и золота предварительным обогащением // Зап. Горного института. — 2013. — Т. 205. — С. 280–284.
6. **Лазич П., Станоев И., Микович Б.** Прямое селективное флотирование минералов свинца, меди и цинка из полиметаллической руды месторождения “Подвирови” // ФТПРПИ. — 2010. — № 6. — С. 116–120.
7. **Технологический регламент** на проектирование обогатительной фабрики месторождения Шалкия. Engineering Dobersek GmbH, Германия, Мюнхенгладбах. — 2016. — 151 с.
8. **Семушкина Л. П., Турысбеков Д. П., Тусупбаев Н. К., Бектурганов Н. С., Муханова А. А.** Совершенствование технологии обогащения тонковкрапленной свинцово-цинковой руды месторождения Шалкия // Обогащение руд. — 2015. — № 2. — С. 8–14.
9. **Асончик К. М., Жакселеков М. М.** Исследование по уточнению схемы и показателей обогащения руды месторождения Шалкия // Обогащение руд. — 2009. — № 3. — С. 5–8.
10. **Избасханов К. С., Жакселеков М. М., Ниязов А. А., Шалгымбаев С.Б., Ли Э.М.** Полупромышленные испытания коллективной схемы обогащения полиметаллической руды месторождения Шалкия // Вестн. КазНТУ. — 2015. — № 5. — С. 311–320.
11. **Леонов С. Б., Белькова О. Н.** Исследование полезных ископаемых на обогатимость. — М.: Интермет инжиниринг, 2001. — 631 с.
12. **ГОСТ 4790-80.** Метод фракционного анализа. — М.: Недра, 1988. — 22 с.
13. **Навроцки Е.** Графоаналитические методы оценки работы гравитационных аппаратов: пер. с польск. — М.: Недра, 1980. — 253 с.
14. **Райвич И. Д.** Гравитационная обогатимость дробленых руд цветных металлов и расчет результатов их гравитационного обогащения: учеб. пособие. — Алма-Ата, 1985. — 82 с.
15. **Райвич И. Д.** Индекс гравитационной обогатимости полезных ископаемых // Изв. вузов. Цв. металлургия, 1977. — № 2. — С. 13–17.

*Поступила в редакцию 15/VI 2019  
После доработки 15/VI 2019  
Принята к публикации 28/V 2019*