

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103

**Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG****Сурымбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т.**

Филиал Республиканского государственного предприятия «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья Республики Казахстан» Государственное научно-производственное объединение промышленной экологии «Казмеханообр»  
(Филиал РГП «НЦ КПМС РК» ГНПОПЭ «Казмеханообр»), г. Алматы, Казахстан

**Аннотация:** Гравитационные методы широко применяются при переработке золотосодержащих руд. Но многие аспекты этого направления обогащения требуют совершенствования. В работе использованы методы пробирно-гравиметрического, химического, минералогического анализов золотосодержащей руды. Золотосодержащая руда по содержанию сульфидной серы и степени окисления серы отнесена к убогосульфидному типу руды первичной зоны. По данным минералогического анализа, руда представлена глинисто-сланцевыми сланцами. Золото в рудах находится в виде свободных крупных и мелких зерен, преобладает золото свободное. Мелкое золото тесно ассоциируется с пиритом. Для оценки гравитационной обогатимости золотосодержащей руды проведен GRG-тест. Суммарное извлечение золота составляет более 41 %. Наиболее высокие показатели извлечения золота получены на первой стадии при крупности 100 % класса –1,6 мм и третьей стадии при крупности 80 % класса –0,071 мм. Это указывает на то, что в руде присутствуют и относительно крупные золотины, и мелкие свободные, что подтверждается минералогическим анализом. Результаты GRG-теста показали, что золотосодержащая руда эффективно обогащается на центробежных концентраторах. Уровень извлечения золота гравитацией при стадийном измельчении руды достаточно высок. При разработке технологической схемы обогащения руды необходимо предусмотреть гравитационное обогащение на центробежных концентраторах.

**Ключевые слова:** гравитационные методы обогащения, GRG-тест, золотосодержащая руда, оценка гравитационной обогатимости руды, обогащение золота, центробежные концентраторы.

**Для цитирования:** Сурымбаев Б. Н., Каналы Е. С., Болотова Л. С., Шалгымбаев С. Т. Оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды – GRG. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):92-103. DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

**Assessment of Gravity Dressability of Gold Ore – GRG Test****B. N. Surimbayev, E. S. Kanaly, L. S. Bolotova, S. T. Shalgymbayev**

"State Scientific and Production Concern for Industrial Ecology "Kazmekhanobr" (Branch of Republican State Enterprise "National Center for Integrated Processing of Mineral Resources of the Republic of Kazakhstan"),  
Almaty, Kazakhstan

**Abstract:** Gravity methods are widely used for processing of gold ores. But many aspects of these processing techniques require improvement. In the study, methods of fire assay, gravimetric, chemical, mineralogical analyses of gold ores were used. In terms of sulfide sulfur content and degree of sulfur oxidation, the gold ore is assigned to the low-sulfide type of ore in the primary zone. Mineralogical analysis showed the ore-bearing rock is represented by phyllite. Gold in the ore occurs mainly in the form of free large and fine particles. The fine gold is closely associated with pyrite. GRG test was carried out for assessing gravity dressability of the gold ore. The total gold recovery is more than 41 %. The highest gold recoveries were achieved at the first stage at 100 % of –1.6 mm ore grain size, and at the third stage at 80 % of –0.071 mm ore grain size. This indicates that both relatively large gold and fine free gold particles are present in the ore. This is also confirmed by mineralogical analysis. The GRG test results showed that the gold ore can be effectively concentrated using centrifugal concentrators. The level of gold recovery by gravity at the multi-stage ore grinding is quite high. When developing the ore concentration process flow sheet, gravity separation in centrifugal concentrators should be included.

**Keywords:** gravity separation methods, GRG test, gold ore, assessment of gravity dressability of gold ore, gold ore concentration, centrifugal concentrators.



**For citation:** Surimbayev B. N., Kanaly E. S., Bolotova L. S., Shalgymbayev S. T. Assessment of gravity dressability of gold ore – GRG test. *Gornyye nauki i tekhnologii = Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):92-103. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2020-2-92-103.

## Введение

Гравитационное обогащение – это разделение минералов на основе разницы в плотности. Техника гравитационного обогащения существует уже тысячелетия [1, 2]. Несмотря на широкое применение флотационных методов обогащения, а также магнитной и электрической сепарации, гидрометаллургических процессов, гравитационные методы обогащения не теряют своей актуальности, а технологические схемы и аппаратура непрерывно совершенствуются [3, 4]. Все методы гравитационного обогащения реализуются при сравнительно низких капитальных и эксплуатационных расходах, являются высокопроизводительными и экологически чистыми. Гравитационное обогащение практически не имеет альтернативы при переработке руд россыпных месторождений, значительно удаленных от инфраструктуры [5–7].

За последние десятилетия все большее распространение находят центробежные аппараты для более глубокой переработки минерального сырья [3–5]. Для определения доли золота, извлекаемого из руды (песков) при помощи гравитации, используется центробежный концентратор Нельсона (Knelson). Данный метод, ставший стандартным в обогащении, предоставляет ценную информацию по извлекаемости золота гравитацией, а также возможность сравнения обогатимости различных руд. При исследованиях определяется не только доля гравитационного золота, но и его реальная крупность [8–14].

При гравитационной переработке золото-содержащих руд возможны потери на стадии измельчения, так как крупные частицы золота переизмельчаются и наклепываются на стенки мельницы. Впервые, чтобы уменьшить потери на стадии измельчения, профессором канадского Университета Макгилла Андре Лаплантом (Andre Laplante) был разработан специальный GRG-тест (Gravity recoverable gold test),

позднее методика была усовершенствована компанией Нельсона (Knelson) [15–22].

По данной методике количество золота, извлекаемого в GRG-тесте, характеризует обогатимость руды гравитационными методами. Схема GRG-теста базируется на факте, что ступенчатое измельчение руды позволяет проводить извлечение благородных металлов при их раскрытии без переизмельчения и истирания крупных частиц металла. GRG-тест состоит из трех последовательных стадий раскрытия минералов и трех стадий обогащения. При ступенчатом измельчении максимально точно определяется содержание гравитационно-извлекаемого золота [17–19, 23, 24].

Целью работы является оценка гравитационной обогатимости золотосодержащей руды методом GRG-теста.

## Объект и методы исследования

Объектом исследований является золото-содержащая руда одного из месторождений Казахстана в Костанайской области. По результатам пробирно-гравиметрического анализа среднее содержание золота в руде составляет 1,60 г/т, серебра – 3,49 г/т.

Для выполнения анализа по другим элементам использовали химическое разложение и определение атомно-абсорбционным методом содержания сопутствующих металлов. Для фазового анализа на серу использовали химический весовой метод. Химический состав руды представлен в табл. 1.

Комплексный минералогический анализ проведен с использованием рентгенофазового, микроскопического и оптического методов. Пробы изучались под микроскопом в прозрачных шлифах, аншлифах, искусственных брикетах и иммерсионных средах. Зерна золота изучали на электронном микроанализаторе марки JEOL JXA-8230 Electron Probe Microanalyzer.

Таблица 1

**Химический состав золотосодержащей руды****Chemical composition of gold ore**

Компонент	Содержание, %	Компонент	Содержание, %
Cu	0,004	K <sub>2</sub> O	1,58
Ni	0,001	SiO <sub>2</sub>	67,29
Co	0,003	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,38
Zn	0,005	As	0,02
Pb	0,002	Sb	0,01
Fe	3,67	S <sub>общ.</sub>	0,30
CaO	1,96	S <sub>сульфидная</sub>	0,29
MgO	1,10	S <sub>сульфатная</sub>	0,01
Na <sub>2</sub> O	2,07	Степень окисления серы	3,33

**Примечание.****Тип руды:**

- по степени окисления серы – первичная;
- по количеству сульфидной серы – убогосульфидная.

**Note.****Ore type:**

- based on sulfur oxidation degree – primary;
- based on sulfide sulfur content – low-sulfide.

Рентгенодифрактометрический анализ средних проб выполнен на дифрактометре ДРОН-4 с CuKa-излучением,  $\beta$ -фильтр. Условия съемки дифрактограмм:  $U = 35$  кВ;  $I = 20$  мА; съемка  $\theta-2\theta$ ; детектор – 2 град/мин.

Рентгенофазовый анализ на полуколичественной основе проведен по дифрактограммам порошковых проб с применением метода равных навесок и искусственных смесей. Определялись количественные соотношения кристаллических фаз. Интерпретация дифрактограмм проводилась с использованием данных картотеки ICDD: база порошковых дифрактометрических данных PDF2 (Powder Diffraction File) и дифрактограмм чистых от примесей минералов. Для основных фаз проводился расчет содержаний.

Оценку гравитационной обогатимости золотосодержащей руды методом GRG-теста проводили на центробежном концентраторе Нельсона (KC-MD3) при следующих режимах: центробежное ускорение – 60G; расход флюидизирующей воды – 3,5 дм<sup>3</sup>/мин; производительность по твердому – 0,5–0,6 кг/мин; избыточное давление флюидизирующей воды – 10–14 кПа; содержание твердого в пульпе, подаваемой на гравитационное обогащение, – 25–30 %.

**Методика проведения GRG-теста.**

GRG-тест проводился на пробе руды массой

10 кг на концентраторе Нельсона (KC-MD3). Данный тест проводят в три стадии. На 1-й стадии руду массой 10 кг дробили до крупности 100 % класса –1,6 мм и дробленую руду пропускали через концентратор Нельсона. Далее хвосты первой стадии доизмельчали до крупности 80 % класса –0,3 мм и пропускали через концентратор Нельсона. На 3-й стадии хвосты 2-й стадии доизмельчали до крупности 80 % класса –0,071 мм. Во время процесса на всех стадиях из хвостов отбирали пробы для анализа и составления технологического баланса. Полученные продукты обогащения (концентраты и хвосты) анализировались пробирно-гравиметрическим методом [18, 23].

Схема проведения GRG-теста дана на рис. 1.

**Результаты исследований и их обсуждение**

Золотосодержащая руда по содержанию сульфидной серы и степени окисления серы отнесена к убогосульфидному типу руды первичной зоны.

По данным минералогического анализа, руда представлена глинисто-слюдистыми сланцами, в различной степени измененными: окварцованными, альбитизированными, калишпатизированными и карбонатизированными (рис. 2–4).

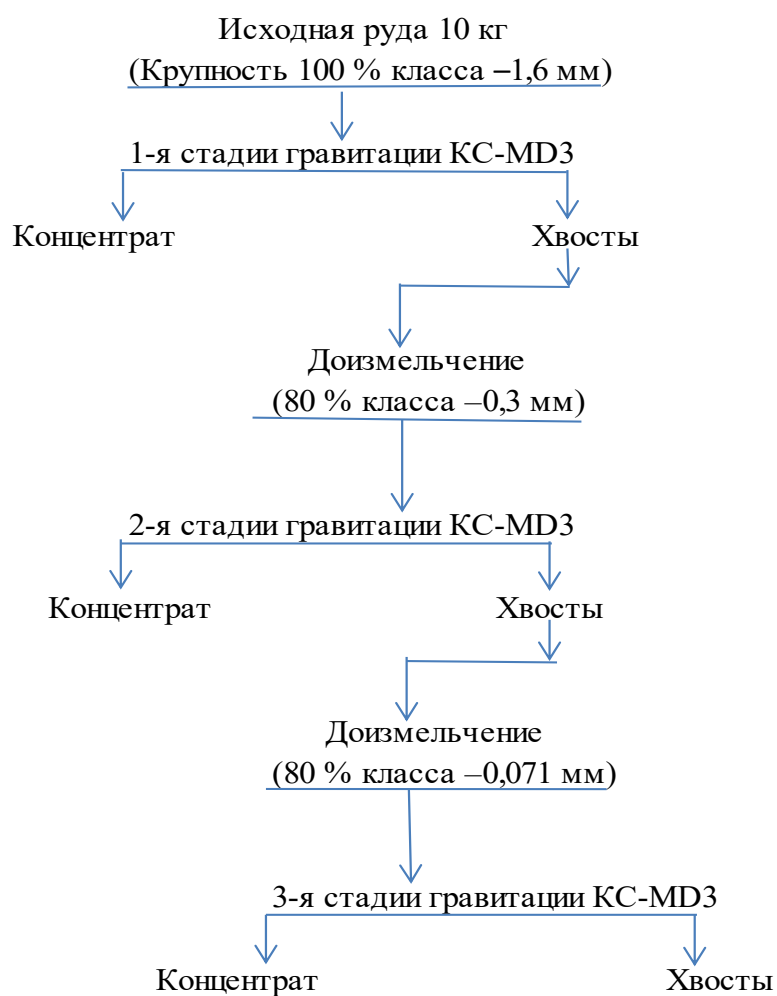


Рис. 1. Схема проведения GRG-теста

Fig. 1. GRG test design

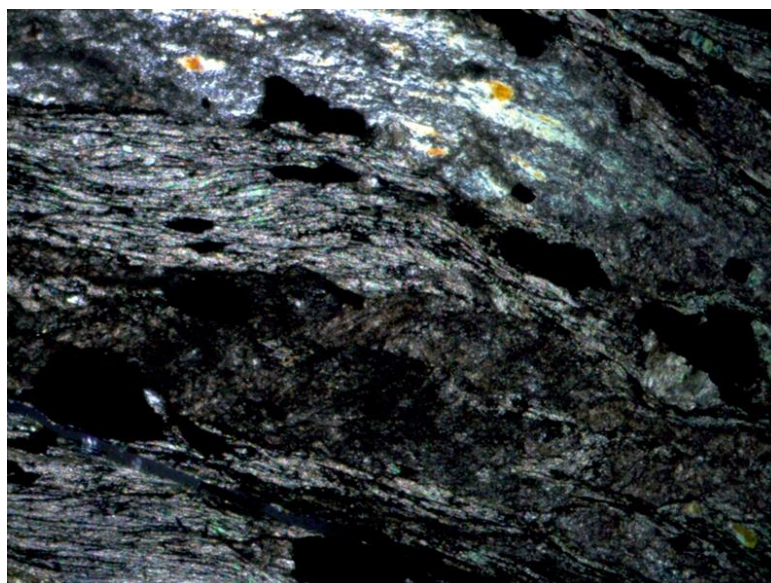


Рис. 2. Глинисто-слюдистый сланец; прозрачный шлиф, ×40

Fig. 2. Phyllite; thin section, ×40



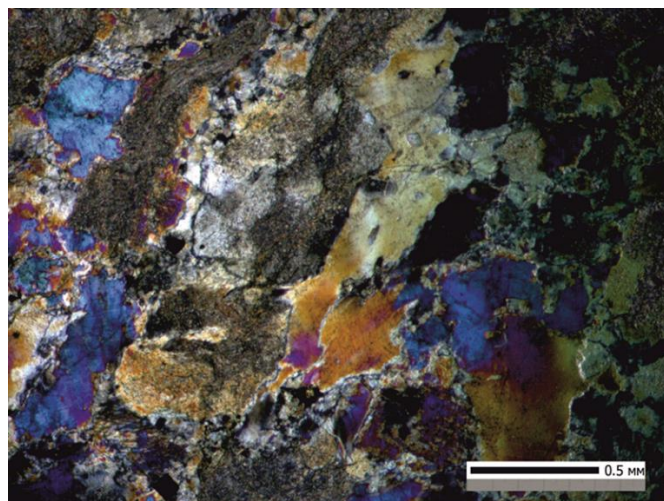


Рис. 3. Окварцованный, альбитизированный и калишпатизированный сланец; прозрачный шлиф,  $\times 40$

Fig. 3. Silicified, albitized and feldsparized shale; thin section,  $\times 40$

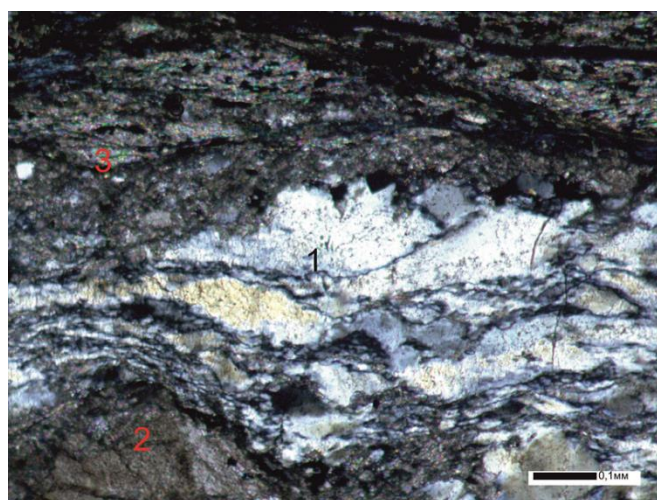


Рис. 4. Сланец глинисто-слюдистый, окварцованный и доломитизированный; шлиф,  $\times 100$ :

1 – кварц; 2 – доломит; 3 – мусковит

Fig. 4. Silicified and dolomitized phyllite; thin section,  $\times 100$ :

1 – quartz; 2 – dolomite; 3 – muscovite

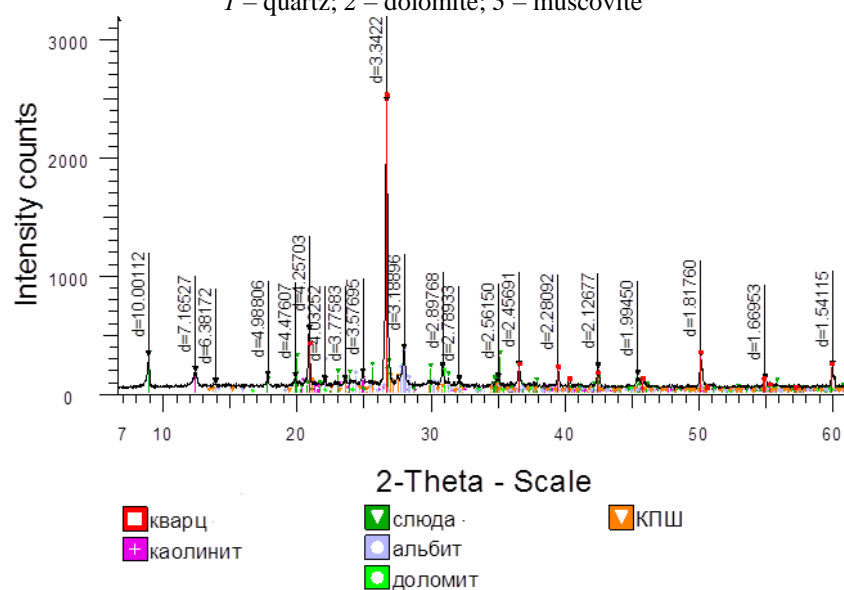
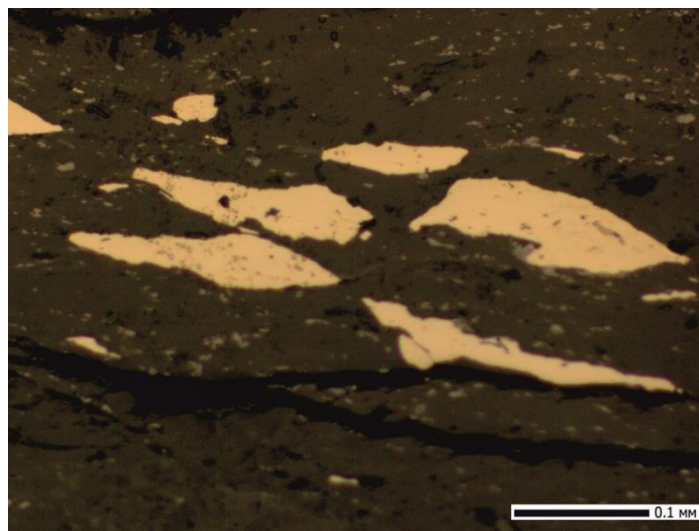


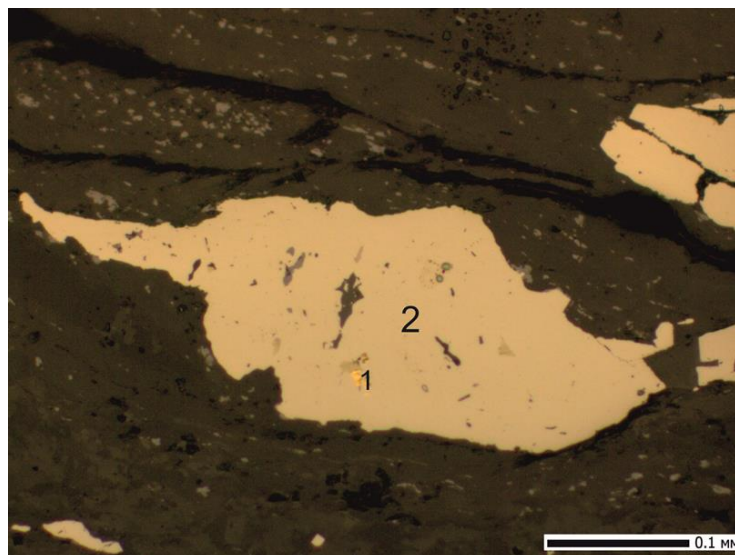
Рис. 5. Дифрактограмма средней пробы

Fig. 5. X-ray diffraction pattern of averaged sample



**Рис. 6. Пирит удлинённый, ориентированный вдоль слоистости породы; аншлиф,  $\times 200$**

**Fig. 6. Pyrite: elongated, oriented along the rock bedding; polished section,  $\times 200$**



**Рис. 7. Золото (1) в пирите (2); аншлиф,  $\times 200$**

**Fig. 7. Gold (1) in pyrite (2); polished section,  $\times 200$**

Идентификация минеральных фаз по данным рентгендифрактометрического анализа приведена на дифрактограмме (рис. 5).

Минеральный состав средней пробы следующий (%): *рудные*: пирит – 0,5–1,0; арсенопирит – 0,1–0,2; оксиды и гидроксиды железа – 6–7; халькопирит и сульфосоли свинца – значимые значения; *породообразующие*: кварц – 46–47, каолинит – 20–21, слюда – 9–10, калишпат – 2, альбит – 9–10, доломит – 5–6. В рудном веществе средней пробы пирит образует кристаллически-зернистые агрегаты, которые имеют зерна удлиненной формы, ориентированные в направлении сланцеватости пород (рис. 6). Следует отметить,

что большая часть железа в пробе представлена в окисленной форме.

Золото в рудах находится в виде свободных крупных и мелких зерен. Преобладает золото свободное пластинчатое размером от 0,06 до 0,20 мм. Мелкое золото тесно ассоциируется с пиритом, образуя в нем дисперсные включения размером 0,005, 0,007, 0,015 мм (рис. 7).

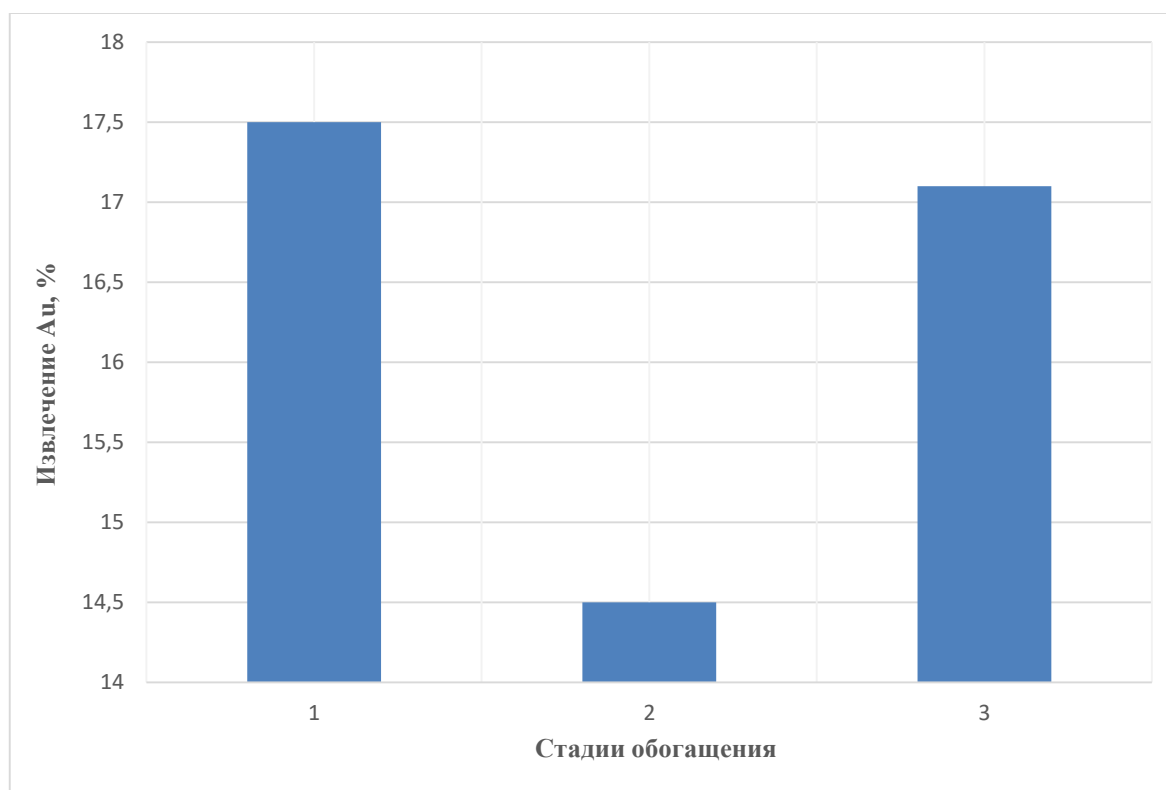
По результатам пробирного, химического и минералогического анализов, промышленным компонентом является только золото.

Для оценки гравитационной обогатимости золотосодержащей руды проведен GRG-тест. Результаты GRG-теста приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Результаты GRG-теста****GRG test results**

Продукт	Выход		Содержание Au, г/т	Распределение Au, %
	г	%		
1-я стадия 100 % класса –1,6 мм				
Концентрат 1	115,9	1,16	25,57	17,53
Хвосты 1	9884,1	98,84	1,41	82,47
Руда	10 000,0	100,00	1,69	100,00
2-я стадия 80 % класса –0,3 мм				
Концентрат 2	113,8	1,15	17,60	14,48
Хвосты 2	9770,3	98,85	1,21	85,52
Питание (хвосты 1)	9884,1	100,00	1,40	100,00
3-я стадия 80 % класса –0,071 мм				
Концентрат 3	119,6	1,22	17,15	17,10
Хвосты 3	9650,8	98,78	1,03	82,90
Питание (хвосты 2)	9770,3	100,00	1,23	100,00
Суммарно				
Концентрат 1	115,90	1,16	25,57	17,48
Концентрат 2	113,78	1,14	17,60	11,81
Концентрат 3	119,56	1,20	17,15	12,09
Суммарно Концентраты	349,24	3,49	20,09	41,38
Хвосты	9650,76	96,51	1,03	58,62
Руда	10 000,00	100,00	1,696	100,00

**Рис. 8. Извлечение золота по стадиям обогащения (от операции)****Fig. 8. Recovery of gold by concentration stage**



Из данных табл. 2 видно, что суммарное извлечение золота составляет более 41 %. Эффективность каждой стадии обогащения (извлечение от операции) в GRG-тесте показана на рис. 8.

Наиболее высокие показатели извлечения золота получены на 1-й стадии при крупности 100 % класса –1,6 мм и 3-й стадии при крупности 80 % класса –0,071 мм. Это указывает на то, что в руде присутствуют и относи-

тельно крупные золотины, и мелкие свободные (от 0,06 до 0,20 мм), что подтверждается минералогическим анализом (рис. 9–11).

На рис. 12 приведено суммарное извлечение золота, извлекаемого гравитацией при различной крупности.

На рис. 12 видно, что самый высокий процент извлечения золота достигается при измельчении руды до крупности 80 % класса – 0,071 мм.

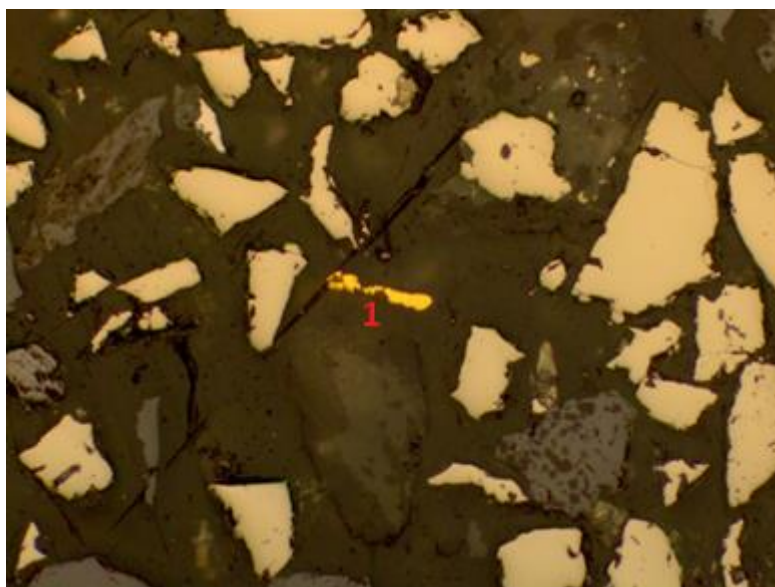


Рис. 9. Пластинчатое золото (1); тяжелая фракция гравиконоцентрата,  $\times 200$

Fig. 9. Platy gold (1); heavy fraction of gravity concentrate,  $\times 200$

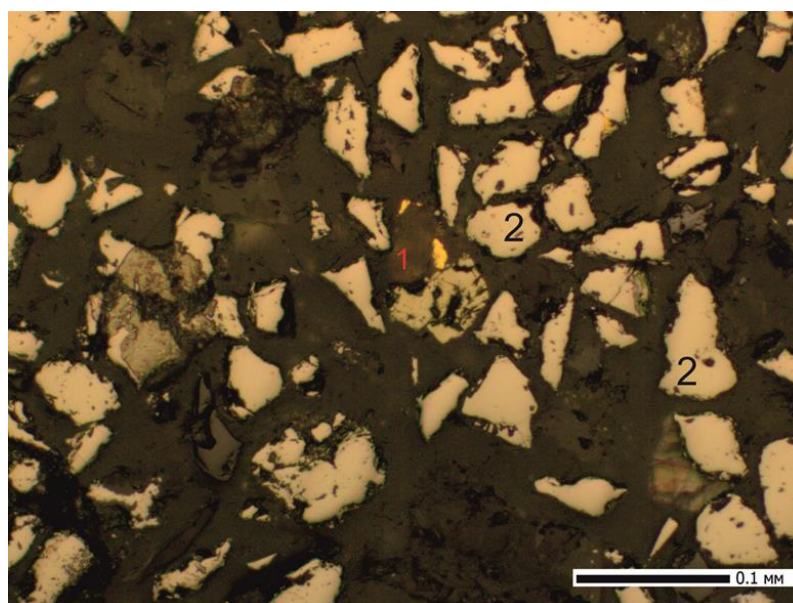
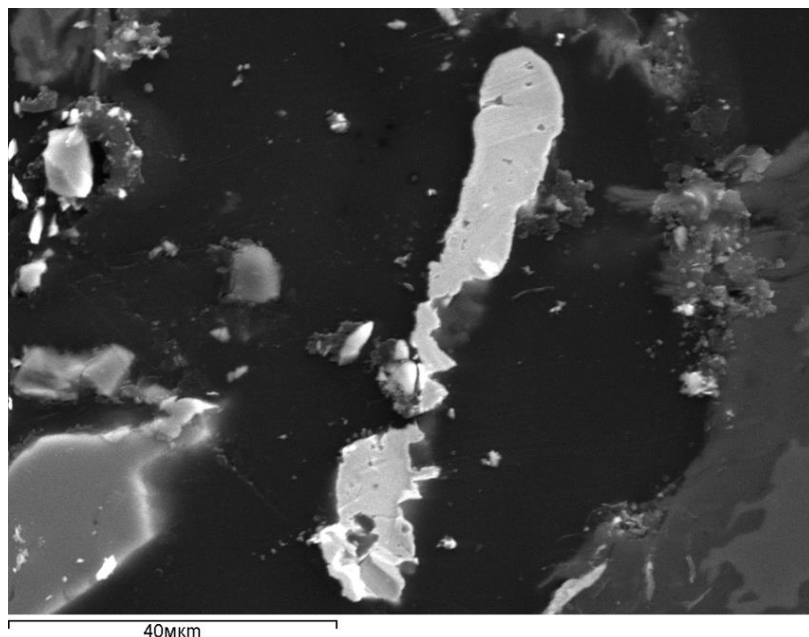


Рис. 10. Пластинчатое золото (1), не полностью вскрытое, в плоскости шлифа и пирит (2); тяжелая фракция гравиконоцентрата,  $\times 200$

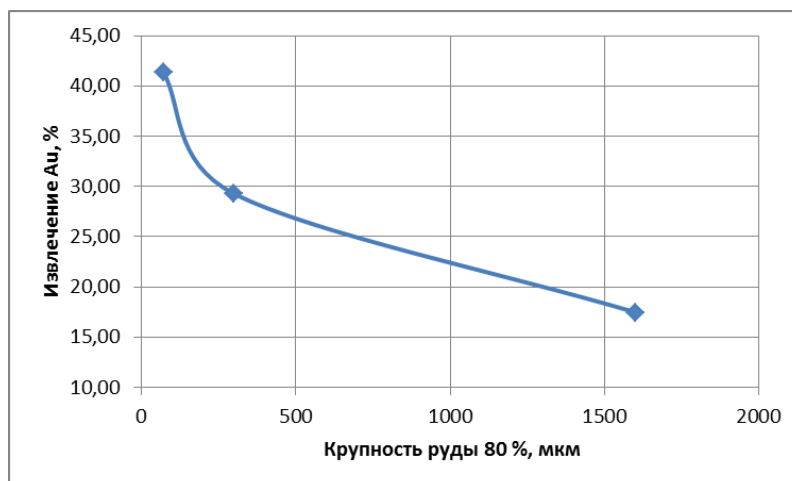
Fig. 10. Platy gold (1), not fully released, in the plane of polished section, and pyrite (2); heavy fraction of gravity concentrate,  $\times 200$





**Рис. 11. Микрорентгеноспектральный анализ золота; состав (%): Au – 96,54; Ag – 2,78; Fe – 0,68**

**Fig. 11. Electron microprobe analysis for gold; composition (%): Au – 96.54; Ag – 2.78; Fe – 0.68**



**Рис. 12. Общий процент золота, извлекаемого гравитацией, в зависимости от крупности руды**

**Fig. 12. Total percentage of gold recovered by gravity depending on the ore grain size**

### Закключение

Результаты GRG-теста показали, что золотосодержащая руда эффективно обогащается на центробежных концентраторах. Уровень извлечения золота гравитацией при ста-

диальном измельчении руды достаточно высок. При разработке технологической схемы обогащения руды необходимо предусмотреть гравитационное обогащение на центробежных концентраторах.

### Библиографический список

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. Gravity Concentration. Chapter 4. *GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners*. P. 34–52. Available from: [http://artisanalmining.org/Repository/01/The\\_CASM\\_Files/CASM\\_Projects/Topic\\_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf](http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf) [Accessed 07.03.2020].
3. Верхотуров М. В. Гравитационные методы обогащения: учебник для вузов. М.: МАКС Пресс, 2006. С. 7–9.
4. Шохин В. И., Лопатин А. Г. *Гравитационные методы обогащения*. М.: Недра; 1993. С. 5–6.

5. Глембоцкая Т. В. *Возникновение и развитие гравитационных методов обогащения полезных ископаемых*. М.: Наука; 1991. С. 121.
6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Мельников В., Роговой А., Ястребов К. Анализ опыта отечественных и зарубежных исследователей в направлении гравитационного и центробежного обогащения дисперсных полезных ископаемых. *Вестник ИргТУ*. 2009;2(38):178–181.
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator>. [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosys.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.
23. Суримбаев Б., Болотова Л., Есенгараев Е., Мазяркина Л. Исследование гравитационного обогащения золотосодержащих руд месторождения «Райгородок». *Промышленность Казахстана*. 2017;101(2):40–42.
24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.

## References

1. Wills B. A., Finch J. A. Gravity Concentration. *Wills' Mineral Processing Technology*. Elsevier; 2016. P. 223–244. DOI: 10.1016/B978-0-08-097053-0.00010-8.
2. Gravity Concentration. Chapter 4. GMP – Manual for Training Artisanal and Small-Scale Gold Miners. P. 34–52. Available from: [http://artisanalmining.org/Repository/01/The\\_CASM\\_Files/CASM\\_Projects/Topic\\_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf](http://artisanalmining.org/Repository/01/The_CASM_Files/CASM_Projects/Topic_Mercury/Pg34-52Ch4GravityConcentration.pdf). [Accessed 07.03.2020].
3. Verkhoturov M.V. *Gravity concentration methods: Textbook for universities and colleges*. Moscow: MAKSPress Publ.; 2006. P. 7–9. (In Russ.).
4. Shokhin V.I., Lopatin A.G. *Gravity concentration methods*. Moscow: Nedra Publ.; 1993. P. 5–6. (In Russ.).
5. Glembotskaya T.V. *The emergence and development of gravitational methods of mineral processing*. Moscow: Nauka; 1991. P. 121. (In Russ.).
6. Habashi F. Gold – An historical introduction. *Developments in Mineral Processing*. 2005;15:XXV–XLVII. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15045-5.
7. Surimbayev B. N., Baikonurova A. O., Bolotova L. S. Prospects for the development of the process of intensive cyanidation of gold-containing products in the Republic of Kazakhstan. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* Almaty, Kazakhstan. 2017;4(424):133–141.
8. Melnikov V., Rogovoy A., Yastrebov K. Analysis of the experience of domestic and foreign researchers in gravitational and centrifugal concentration of dispersed minerals. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2009;2(38):178–181. (In Russ.).
9. Coulter T., Subasinghe G. K. N. A mechanistic approach to modelling Knelson concentrators. *Miner. Eng.* 2005;18(1):9–17. DOI: 10.1016/j.mineng.2004.06.035.
10. Sakuhuni G. et al. A novel laboratory procedure for predicting continuous centrifugal gravity concentration applications: The gravity release analysis. *Int. J. Miner. Process.* Elsevier B.V. 2016;(154):66–74. DOI: 10.1016/j.minpro.2016.07.004.
11. Knelson T. M. *Gravity Concentrator – for maximising gold recovery*. Available from: <https://www.fls-midth.com/en-gb/products/precious-metals-recovery/knelson-semi-continuous-gravity-concentrator> [Accessed 07.03.2020].
12. Ghaffari A., Farzanegan A. An investigation on laboratory Knelson Concentrator separation performance: Part 1: Retained mass modelling. *Miner. Eng.* Elsevier Ltd. 2017;112:57–67. DOI: 10.1016/j.mineng.2017.07.006.
13. Surimbayev B., Bolotova L., Mishra B., Baikonurova A. Intensive cyanidation of gold from gravity concentrates in a drum-type apparatus. *News Natl. Acad. Sci. Repub. Kazakhstan, Ser. Geol. Tech. Sci.* 2018;5(431):32–37. DOI: 10.32014/2018.2518-170X.7.
14. Noaparast M., Laplante A. R. Free gold particles selection and breakage functions estimation. *Iran. J. Sci. Technol., Trans. B Eng.* 2004;28(6B):667–677.
15. Fullam M. et al. Advances in Gravity Gold Technology. *Gold Ore Processing*. Elsevier; 2016. P. 301–314. DOI: 10.1016/B978-0-444-63658-4.00019-0.
16. Laplante A., Gray S. Advances in gravity gold technology. *Developments in Mineral Processing*. Elsevier. 2005;15:280–307. DOI: 10.1016/S0167-4528(05)15013-3.
17. Koppalkar S. et al. Understanding the discrepancy between prediction and plant GRG recovery for improving the gold gravity performance. *Miner. Eng. Pergamon*. 2011;24(6):559–564. DOI: 10.1016/j.mineng.2010.09.007.
18. Laplante A. R. *A Standardized Test to Determine Gravity Recoverable Gold*. Available from: <http://knelsonrussian.xplorex.com/sites/knelsongravity/files/reports/report21s.pdf> [Accessed: 07.03.2020].
19. Laplante A. R., Dunne R. C. The Gravity recoverable gold test and flash flotation. In: *Proceeding 34th Annual Meeting of the Canadian Mineral Processors*. Ottawa, Canada; 2002. Available from: <http://seprosystems.com/language/wp-content/uploads/2016/09/laplante.pdf>. [Accessed: 10.03.2020].
20. Woodcock F.C., Frederick C. *Use of a Knelson unit to quantify gravity recoverable gold in an ore*. 1996. P. 1674–1674.
21. Clarke J. A simplified gravity-recoverable-gold test. *ProQuest*, 2007.
22. Laplante A. R. et al. Practical considerations in the operations of gold gravity circuits. In: *Proceedings 26th Annual Mineral Processors Conference*. Ottawa, Paper. 1994;23.



23. Surimbayev B., Bolotova L., Esengaraev E., Mazyarkina L. A study of gravity separation of gold ores of the Raigorodok deposit. *Industry of Kazakhstan*. 2017;101(2):40–42. (In Russ.).
24. Myrzaliev B., Nogaeva K., Molmakova M. Determination of Jamgyr Deposit Ore Gravity Concentration Feasibility. *Proc. Irkutsk State Tech. Univ.* 2018;22(10):153–165. DOI: 10.21285/1814-3520-2018-10-153-165.