

УДК 622.271.1:622.793

DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-4-25-33

ИССЛЕДОВАНИЯ ИЛИСТО-ГЛИНИСТОГО МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ОБОГАТИМОСТЬ ГРАВИТАЦИОННЫМ МЕТОДОМ

RESEARCHES OF SILT-CLAY MINERAL RAW MATERIALS FOR THE WASHABILITY BY THE GRAVITATIONAL METHOD

В. П. Мязин,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
myazinvpchita@mail.ru

V. Myazin,
Transbaikal State University, Chita



Т. В. Никоненко,
Забайкальский государственный
университет, г. Чита
nikontan@yandex.ru

T. Nikonenko,
Transbaikal State University, Chita



Исследования исходной пробы илисто-глинистого минерального сырья, отобранного в августе 2019 г. с участка Коржиха Карраканского прииска, проводилось в лабораторных условиях, максимально приближенных к полупромышленным гравитационным испытаниям.

Анализ полученных результатов позволил определить содержания благородных металлов в илисто-глинистом минеральном сырье, отобранном из эфельного отвала россыпного техногенного месторождения Забайкальского края. Химический анализ исходной пробы показал, что содержание золота составляет 3,5 г/т, серебра – 1,21 г/т.

Проведена оценка извлечения золота в гравитационный концентрат при крупности помола 80 % класса 0,212, 0,150, 0,106, 0,075 мм по одностадийному гравитационному обогащению на концентраторе Нельсон (марки КС-МДЗ-Г4) с перечисткой концентрата на сепараторе Мозли (С-800). Высокие показатели по извлечению золота отмечены на крупности P_{80} 0,075 мм – 40,72 %.

Исследована степень извлечения ценного компонента при трехстадийном гравитационном обогащении. Выявлено распределение свободного золота в классах крупности. Установлены зависимости степени извлечения благородного металла (Au) от стадии измельчения исходного материала, которые составляют: стадия 1 – P_{100} – 850 мкм, извлечение в концентрат 18,27 %; стадия 2 – P_{80} – 212 мкм, извлечение в концентрат 51,2 %; стадия 3 – P_{80} – 75 мкм, извлечение в концентрат 66,07 %.

Проанализированы работы по оценке эффективности обогащения глинистых золотосодержащих песков гравитационным методом. Лабораторно подтверждено получение кондиционных гравитационных концентратов из отвала техногенного россыпного месторождения Забайкальского края

Ключевые слова: илисто-глинистые отложения; россыпь; золото; глина; галля; содержание ценного компонента; технологические потери; промывка; гравитация; концентрат; хвосты

The research of a silt-clay mineral raw materials sample, selected in August 2019 at inby unit Korzhykha of the Karakumsky mine, has been carried out in laboratory conditions as close to semi-gravity testing.

The analysis of the obtained results has made it possible to determine the content of precious metals in silt-clay mineral raw materials selected from the ash dump of an alluvial technogenic deposit at the Transbaikal region. From the chemical analysis of the initial sample, it follows that the content of gold is 3,5 g/t, and silver is 1,21 g/t.

The estimation of gold extraction into gravity concentrate at different grinding sizes of 80 % of the class 0,212, 0,150, 0,106, 0,075 mm has been made by single-stage gravity enrichment at the Nelson concentrator (grade КС-МДЗ-Г4) with re-cleaning of the concentrate, at the Moseley separator (С-800). High rates of gold recovery have been recorded at a P_{80} size of 0,075 mm 40,72 %.

The studies have been conducted on the degree of a valuable component recovery in three-stage gravitational washability. The distribution of free gold in the size classes is determined. The dependences of recovery

degree of precious metal (Au) from the stage of crushing the raw material are stated, and which is: stage 1 – P_{100} – 850 μm , extracting into concentrate 18,27 %; stage 2 – P_{80} of 212 μm , the recoveries to concentrate of 51,2 %; stage 3 – P_{80} of 75 μm , extracting into concentrate 66,07 %.

The analysis of works on estimation the efficiency of clay gold-containing sands' washability by the gravitational method is performed. The production of conditioned gravity concentrates from the dump of a technogenic alluvial deposit of Transbaikal region has been confirmed by laboratory tests

Key words: silt-clay deposits; placer; gold; clay; pebble; content of a valuable component; technological losses; tossing; gravity; concentrate; tails

Введение. Забайкальский край исторически является один из ведущих регионов по добыче россыпного золота, однако многолетняя разработка и переработка россыпных месторождений приводит к истощению природных ресурсов. В последние десятилетия в эксплуатацию вводятся сложные горно-геологические объекты. К основным характеристикам труднопромывистых золотосодержащих песков относят высокое содержание илесто-глинистых отложений и различных типов органики [8; 9].

Статистика действующих предприятий по переработке россыпных месторождений Забайкальского края за последние годы показывает, что актуальная проблема высокого содержания илесто-глинистых включений наблюдается повсеместно. Ситуация с добычей и переработкой россыпного золота на территории Забайкальского края резко изменилась. Богатые легкообогатимые месторождения россыпного золота отработаны, в эксплуатацию вводятся труднообогатимые и техногенные отвалы [8]. Результатом деятельности ведущих золотодобывающих компаний стали заброшенные отвалы и пруды-накопители, которые изменили не только рельеф, но и вещественный состав золота, характеризующийся высоким содержанием илесто-глинистых частиц [1–3].

Россыпные месторождения Забайкальского края относятся к труднопромывистым золотосодержащим пескам. Основная причина высоких потерь золота и попутных ценных компонентов – низкая эффективность технологического оборудования [8].

Учитывая названные аспекты, все россыпные месторождения Забайкальского края с присутствием мелкого, тонкого, плавучего золота следует считать новым видом сырья, для которого не существует эффективной технологии обогащения с высоким извлечением ценного компонента. В этой связи не-

обходим переход от устаревшей малоэффективной технологии обогащения россыпных месторождений к новой ресурсосберегающей малоотходной технологии обогащения илесто-глинистых золотосодержащих песков [10].

Статистические данные и исследования ведущих ученых подтверждают, что частицы золота крупностью менее 0,15 мм не улавливаются шлюзами, при этом повышение объемов промывки приводит к увеличению потерь ценного металла за счет мелких классов [5]. В результате образуются новые эфельные отвалы с повышенным содержанием глины и илов и промышленными содержаниями золота, которое представлено в мелком тонком виде в трудноизвлекаемых классах. Повторная отработка ведется с применением одной технологической схемы, в доводочных операциях используются современные гравитационные аппараты. Доводочное оборудование, как правило, имеет небольшую производительность и теоретически способно извлекать частицы крупностью более 0,03 мм, однако на практике крупность свободного золота значительно меньше [8].

Объектом исследования является илесто-глинистое минеральное сырье, отобранное из техногенного образования россыпного месторождения на участке Коржиха Карраконского прииска, которое ранее неоднократно отработывалось. В 2011–2018 гг. месторождение частично отработано, однако илесто-глинистые проявления и сложное геологическое расположение золотоносных песков обусловили низкие технологические показатели по ценному компоненту.

В эфельных отвалах выявлены остаточные содержания благородного металла, представленные в мелких классах в виде свободного «плавучего золота», которое невозможно качественно извлечь из техногенного образования.

Предметом исследования является технологическая оценка обогатимости техногенного сырья с использованием аппаратов центробежной сепарации.

Цель исследования – определение степени извлечения свободного золота из эфельной фракции при использовании процесса центробежной сепарации в гравитационных схемах переработки минерального сырья.

Основные задачи исследования:

– установить содержание свободного золота и закономерность его распределения по классам крупности;

– оценить эффективность многостадийного извлечения золота с использованием аппаратов центробежной сепарации в технологических схемах для выработки направления по дальнейшему использованию разработки в промышленных условиях.

Материал и методы исследования. Для исследования на обогатимость использована малообъемная технологическая проба техногенных эфельных продуктов, полученных после первоначальной промывки глинистых песков.

В работе применялись следующие методы: теоретический анализ априорной информации, обобщение, термодинамический анализ, физико-химический анализ, экспериментальные методы, включающие химический, рентгенофазовый, микроскопический, электронно-микроскопический анализы, pH-метрию, лабораторные эксперименты на гравитационных установках. Обработка результатов выполнена методами прикладной математики, математической статистики с использованием программ Microsoft Excel, STATISTICA.

Степень научной разработанности проблемы. Проблемами освоения техногенных россыпей золота занимаются научные коллективы городов Москва, Екатеринбург, Якутск, Чита, Магадан, Хабаровск и др. Ведущие специалисты и исследователи сформировали узконаправленные научные школы. У истоков изучения проблемы освоения техногенных месторождений полезных ископаемых стояли выдающиеся ученые академики Н. В. Мельников, М. И. Агошков, В. В. Ржевский, К. Н. Трубецкой, В. Н. Ласкорин, В. А. Чантурия, Е. И. Богданов, С. М. Шорохов, К. В. Соломин, В. Н. Шохин, А. Г. Лопатин, В. В. Кармазин и др., заложившие научные основы решения рассматриваемого вопроса. Большинство отечественных и зарубежных исследователей сходятся во мнении, что основная потеря свободного золота происходит с частным выходом мелких классов. Экспериментально доказано, что мелкое пластинчатое, чешуйчатое, морфологически измененное и так называемое «плавучее золото» полностью не извлекается примитивными гравитационными аппаратами [5; 8; 11].

Результаты исследования и их обсуждение. При определении химического состава исходной пробы применены следующие методы анализа: определение содержания золота пробирно-атомно-абсорбционным методом (FAA303M); определение содержания серебра атомно-абсорбционным методом с разложением в царской водке (AAS12EM); определение содержания общей и сульфидной серы, общего и органического углерода ИК-спектрометрией (CSA10VM, CSA08VM, CSA03VM). Результаты химических анализов приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Химический состав исходного материала / The chemical composition of the source material

Элемент / Element	Метод / Method	Единица измерения / Unit of measurement	Эфель / Dredging waste
Au	FAA303M	г/т / g/t	3,54
Ag	AAS12EM	г/т / g/t	1,20
C	CSA10VM	%	1,76
S	CSA10VM	%	3,18
S(сульф)	CSA08VM	%	2,85
C(орг)	CSA03VM	%	0,26

В пробе исходного материала содержание золота составляет 3,54 г/т, серебра – 1,20 г/т, углерода – 1,76 %, в том числе органического – 0,26 %, 3,18 % серы, в том числе сульфидной – 2,85 %.

Исследование илисто-глинистых отложений эфельных отвалов на обогатимость осуществлялось по стандартному гравитационному методу. Изучение процесса гравитации осуществлялось на лабораторном оборудовании в условиях, максимально приближенных к условиям промышленной переработки минерального сырья.

Подготовка исходной пробы включала следующие операции: дробление, грохочение, перемешивание, формирование пред-

ставительной навески для проведения гравитационного обогащения.

Для потенциальной оценки извлечения золота в гравитационный концентрат при различной крупности помола исследовали пробу эфельных отложений по одностадийному гравитационному обогащению на концентрате Нельсон (марки КС-MD3-G4) с перечисткой концентрата на сепараторе Мозли (С-800). Опыты выполнялись на измельченных навесках с крупностью помола 80 % класса 0,212, 0,150, 0,106, 0,075 мм и массой 10 кг. Схема обогащения приведена на рис. 1. Основные параметры опытов приведены в табл. 2.

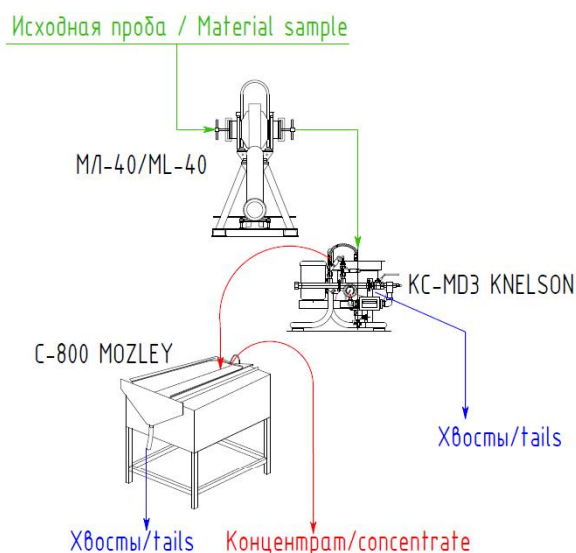


Рис. 1. Схема гравитационного обогащения / Fig. 2. The scheme of gravitational washability

Таблица 2 / Table 2

Параметры испытаний / Test parameters

Параметры / Parameters	Значения / Values
Концентратор Нельсон КС-MD3-G4 / Nelson Concentrator CS-MD3-G4	
Крупность питания 80 %, мм / Feed size 80 %, mm	0,075; 0,212; 0,150; 0,106
Производительность, кг/ч / Capacity, kg/h	20-23
Расход воды, л/мин / Water consumption, l/min	3,5
Центробежное ускорение, G / Centrifugal acceleration, G	60
Сепаратор Мозли С-800 / Separator Moseley S-800	
Производительность, кг/ч / Capacity, kg/h	0,2
Угол наклона деки / Deck tilt angle	3...4°
Частота колебаний деки, цикл/мин / Deck oscillation frequency, cycle/min	72
Дека / Deck	V-образная
Амплитуда колебаний деки, мм / Oscillation amplitude of the deck, mm	13,0

Результаты выполненных испытаний представлены в табл. 3.

Таблица 3 / Table 3

Результаты гравитационного обогащения / Gravity Washability Results

Продукт / Product	Выход / Exit		Содержание, г/т / Content, g/t	Извлечение, % / Recovery, %
	г/g	%	Au	Au
Проба-1 (P ₈₀ 212 мкм) / Sample-1 (P ₈₀ 212 μm)				
Концентрат / Concentrate	9,79	0,10	1070,00	29,06
Хвосты / Tails	9990,21	99,90	2,56	70,94
Исходный материал (расчет) / Source material (calculation)	10 000,00	100,00	3,61	100,00
Исходный материал (анализ) / Source material (analysis)	-	-	3,54	-
Проба-2 (P ₈₀ 150 мкм) / Sample-2 (P ₈₀ 150 μm)				
Концентрат / Concentrate	10,11	0,10	1010,00	29,03
Хвосты / Tails	9986,89	99,90	2,50	70,97
Исходный материал (расчет) / Source material (calculation)	9997,00	100,00	3,52	100,00
Исходный материал (анализ) / Source material (analysis)	-	-	3,54	-
Проба-3 (P ₈₀ 106 мкм) / Sample-3 (P ₈₀ 106 μm)				
Концентрат / Concentrate	8,50	0,09	1610,00	38,59
Хвосты / Tails	9989,55	99,91	2,18	61,41
Исходный материал (расчет) / Source material (calculation)	9998,05	100,00	3,55	100,00
Исходный материал (анализ) / Source material (analysis)	-	-	3,54	-
Проба-4 (P ₈₀ 75 мкм) / Sample-4 (P ₈₀ 75 μm)				
Концентрат / Concentrate	12,53	0,13	1150,00	40,72
Хвосты / Tails	9987,47	99,87	2,10	59,28
Исходный материал (расчет) / Source material (calculation)	10 000,00	100,00	3,54	100,00
Исходный материал (анализ) / Source material (analysis)	-	-	3,54	-

В результате гравитационного обогащения пробы эфельных отложений извлечение золота в гравитационный концентрат составило 29,03...40,72 %. Самые высокие показатели по извлечению золота отмечены на крупности P₈₀ 0,075 мм – 40,72 %.

Для полного представления возможности гравитационного обогащения эфельных отложений проведены дополнительные исследования по стандартным тестам с определением количества гравитационно-извлекаемого золота (тесты GRG).

Тест GRG проводится с целью определения максимально возможного извлечения золота гравитационным методом на центробежном сепараторе. Процедура предусматривает трехстадийное обогащения руды с доизмельчением хвостов предыдущей стадии, как показано на рис. 2.

Полученные данные в результате анализа продуктов обогащения теста GRG и расчет извлечения представлены в табл. 4 и на рис. 3.

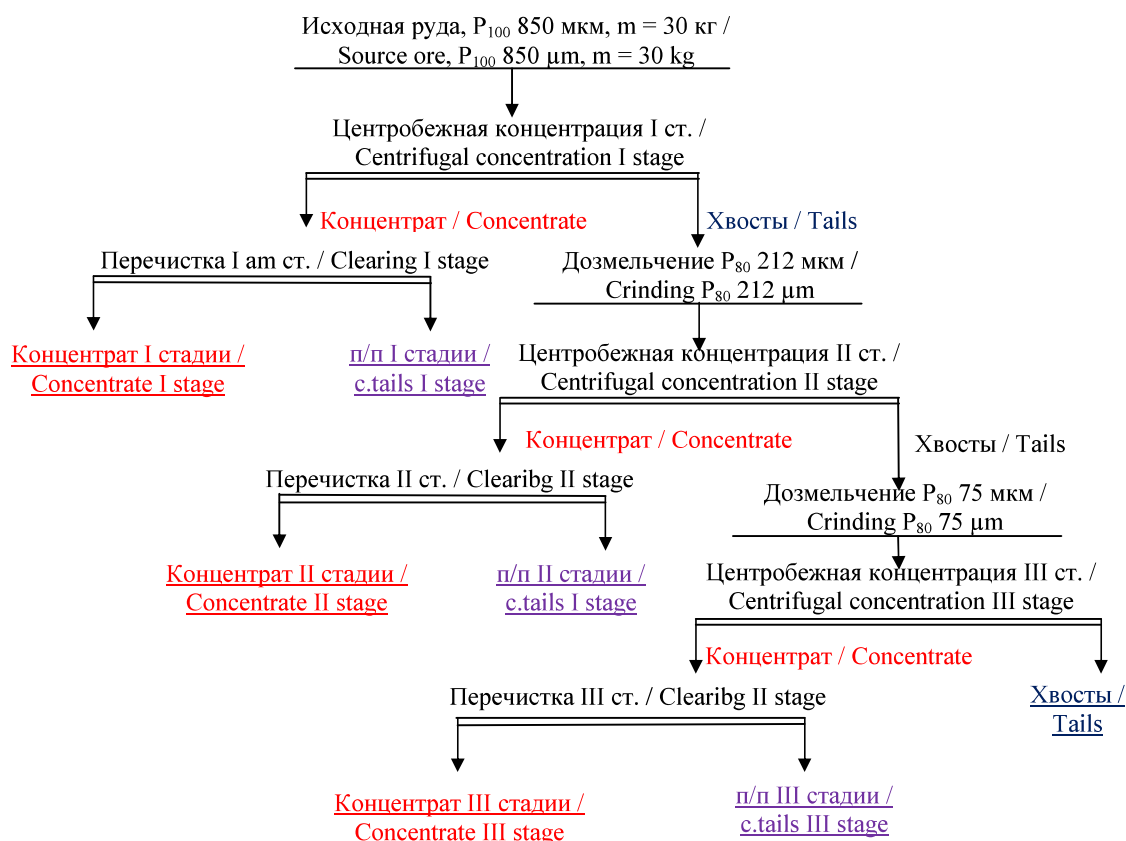


Рис. 2. Схема теста GRG / Scheme of GRG test

Таблица 4 / Table 4

Результаты теста GRG / GRG test results

Продукт / Product	Выход / Exit		Содержание, г/т / Content, g/t	Извлечение, % / Recovery, %
	г / g	%	Au	Au
Концентрат 1 стадии / Stage 1 Concentrate	12,02	0,04	1396,10	15,53
Промпродукт 1 стадии / Industrial product 1 stage	70,74	0,24	41,90	2,74
Хвосты 1 стадии / Stage 1 tails	349,62	1,17	2,87	0,93
Концентрат 2 стадии / Stage 2 Concentrate	12,41	0,04	2120,10	24,35
Промпродукт 2 стадии / Industrial product 2 stage	89,30	0,30	103,80	8,58
Хвосты 2 стадии / Stage 2 tails	345,20	1,15	1,70	0,54
Концентрат 3 стадии / Stage 3 Concentrate	12,74	0,04	559,60	6,60
Промпродукт 3 стадии / Industrial product 3 stage	91,80	0,31	97,30	8,27
Хвосты 3 стадии / Stage 3 tails	220,26	0,74	1,21	0,25
Концентрат + промпродукт / Concentrate + middlings	289,01	0,96	247,00	66,07
Хвосты / Tails	28 754,00	95,98	1,21	33,92
Исходный материал (расчет) / Source material (calculation)	29 958,09	100,00	3,61	100,00
Исходный материал (анализ) / Source material (analysis)	29 958,09	100,00	3,54	100,00

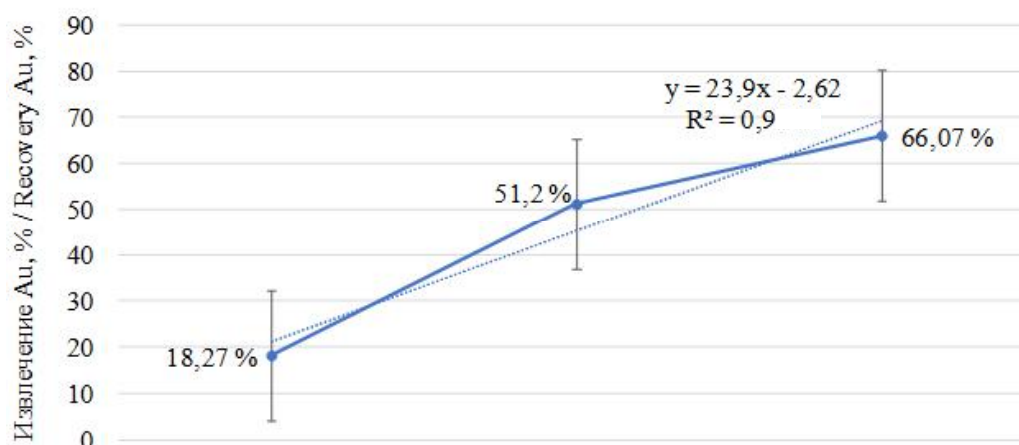


Рис. 3. Стадийное извлечение золота / Fig. 3. Stadium recovery of gold

Суммарное извлечение золота по тесту GRG составило 66,08 %, содержание Au в хвостах гравитации – 1,21 г/т.

Заключение. Результаты гранулометрического анализа показывают, что золото накапливается в эфельных отвалах в масштабах, позволяющих планировать их освоение на основе применения современных методов обогащения.

Наблюдается тенденция повышенного содержания свободного золота в интервале 106...75 мкм с динамикой уменьшения в более крупных классах. Накопленные содер-

жания ценного компонента в техногенных илисто-глинистых отложениях соответствуют промышленным кондициям.

Полученные результаты по гравитационному обогащению илисто-глинистых отложений можно считать положительными, однако для полной и объективной оценки отработки техногенных отложений с применением комплексной технологии требуются дополнительные масштабные исследования, которые позволят расширить привычные границы переработки россыпных месторождений.

Список литературы

1. Башлыкова Т. В., Амосов Р. А., Пахомова Г. А., Макавецкас А. Р. Новые перспективные возможности гравитационного извлечения мелкого и тонкого золота // Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье: сб. ст. Иркутск 2003. С. 109–110.
2. Бордунов С. В., Бордунов В. В., Данилов А. П. Извлечение тонкого золота из техногенного сырья с высоким содержанием глини // 10-й конгресс обогатителей стран СНГ: сб. ст. М., 2015. Т. 1. С. 365–368.
3. Бордунов С. В., Бордунов В. В., Данилов А. П. Извлечение тонкого золота из техногенного сырья с высоким содержанием карбонатов // 10-й конгресс обогатителей стран СНГ: сб. ст. М., 2015. Т. 1. С. 362–365.
4. Букин В. И., Игумнов М. С., Сафонов В. В., Сафонов Вл. В. Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы. М.: Деловая столица, 2002. 224 с.
5. Волощук В. В. Морфологические изменения самородного золота в россыпях // Перспективы развития золотодобычи в Забайкалье: сб. ст. Иркутск, 2003. С. 85–87.
6. Галич В. М., Сычев В. В., Сычев Вад. В. Повышение сквозного извлечения мелкого и тонкого золота из галечно-эфельных отвалов // Обогащение руд. 2000. № 6. С. 30–33.
7. Инновационные разработки, предлагаемые к реализации: рекламно-информационный выпуск / под ред. С. Ф. Мирошникова. Чита: ЗабГУ, 2015. 119 с.
8. Литвинцев В. С., Пономарчук Г. П., Банщикова Т. С. Золотоносность илово-глинистых отложений техногенных россыпей Дальневосточного региона России // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2010. № 5. С. 91–98.

9. Спирин В. И., Башлыкова Т. В. Создание геотехнологического центра для разработки наилучших доступных технологий обогащения руд природных и техногенных месторождений // 10-й конгресс обогатителей стран СНГ: сб. ст. М., 2015. Т. 1. С. 269–272.

10. Чантурия В. А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России // Горный журнал. 2005. № 12. С. 56–64.

11. Qu W., Bogena H. R., Huisman J. A., Schmidt M., Kunkel R., Weuthen A., Schiedung H., Schilling B., Sorg J., Vereecken H. The integrated water balance and soil data set of the Rollesbroich hydrological observatory // Earth System Science. 2016. Vol. 8. P. 517–529.

References

1. Bashlykova T. V., Amosov R. A., Pakhomova G. A., Makavetskas A. R. *Perspektivy razvitiya zolotodobychi v Zabaykaliye: sb. st.* (Prospects for the development of gold mining in Transbaikalia: collected articles). Irkutsk 2003, pp. 109–110.

2. Bordunov S. V., Bordunov V. V., Danilov A. P. *10-y kongress obogatiteley stran SNG: sb. st.* (10th Congress of Concentrators of the CIS Countries: collected articles). Moscow, 2015, vol. 1, pp. 365–368.

3. Bordunov S. V., Bordunov V. V., Danilov A. P. *10-y kongress obogatiteley stran SNG: sb. st.* (10th Congress of Concentrators of the CIS countries: collected articles). Moscow, 2015, vol. 1, pp. 362–365.

4. Bukin V. I., Igumnov M. S., Safonov V. V., Safonov V. V. *Pererabotka proizvodstvennykh otkhodov i vtorichnykh syryevykh resursov, sodержashchikh redkiye, blagorodnyye i tsvetnyye metally* (Processing of industrial wastes and secondary raw materials containing rare, precious and non-ferrous metals). Moscow: Business capital, 2002. 224 p.

5. Voloshchuk V. V. *Perspektivy razvitiya zolotodobychi v Zabaykaliye: sb. st.* (Prospects for the development of gold mining in Transbaikalia: collected articles). Irkutsk, 2003, pp. 85–87.

6. Galich V. M., Sychev V. V., Sychev Vad. V. *Obogashcheniye rud* (Ore beneficiation), 2000, no. 6, pp. 30–33.

7. *Innovatsionnyye razrabotki, predlagayemyye k realizatsii: reklamno-informatsionnyy vypusk* (Innovative developments proposed for implementation: advertising and information release) / ed. S. F. Miroshnikov. Chita: ZabSU, 2015. 119 p.

8. Litvintsev V. S., Ponomarchuk G. P., Bانشchikova T. S. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* (Physicotechnical problems of mining), 2010, no. 5, pp. 91–98.

9. Spirin V. I., Bashlykova T. V. *10-y kongress obogatiteley stran SNG: sb. st.* (10th Congress of Concentrators of the CIS Countries: collected articles). Moscow, 2015, vol. 1, pp. 269–272.

10. Chanturia V. A. *Gornyy zhurnal* (Mining Journal), 2005, no. 12, pp. 56–64.

11. Qu W., Bogena H. R., Huisman J. A., Schmidt M., Kunkel R., Weuthen A., Schiedung H., Schilling B., Sorg J., Vereecken H. *Earth System Science* (Earth System Science), 2016, vol. 8, pp. 517–529.

Коротко об авторах

Мязин Виктор Петрович, д-р техн. наук, профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и вторичного сырья, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: обогащение полезных ископаемых

myazinvpchita@mail.ru

Никоненко Татьяна Владимировна, аспирант, Забайкальский государственный университет, г. Чита, Россия. Область научных интересов: промышленное проектирование

nikontan@yandex.ru

Briefly about the authors

Victor Myazin, doctor of technical sciences, professor, head of Mineral and Secondary Raw Materials department, Transbaikalian State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: mineral processing

Tatyana Nikonenko, postgraduate, Transbaikalian State University, Chita, Russia. Sphere of scientific interests: industrial design

Образец цитирования _____

Мязин В. П., Никоненко Т. В., Исследования илисто-глинистого минерального сырья на обогатимость гравитационным методом // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 4. С. 25–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-4-25-33.

Myazin V., Nikonenko T., Researches of silt-clay mineral raw materials for the washability by the gravitational method // Transbaikal State University Journal, 2020, vol. 26, no. 4, pp. 25–33. DOI: 10.21209/2227-9245-2020-26-4-25-33.

Статья поступила в редакцию: 04.03.2020 г.

Статья принята к публикации: 28.03.2020 г.