

## Разработка технологии извлечения россыпного микронного золота с использованием диспергирования глинистой составляющей вмещающих пород

Усов Г. А.<sup>1\*</sup>, Фролов С. Г.<sup>1</sup>, Тарасов Б. Н.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

\*e-mail: usov\_ga@mail.ru

### Реферат

**Введение.** В современных условиях в связи с накоплением техногенных отвалов золотосодержащих руд все большую актуальность приобретает разработка новых эффективных технологий извлечения мелкого и тонкого золота. Авторами рассматривается и анализируется ситуация добычи и переработки золотосодержащего сырья в России и на Урале.

**Цель исследований.** С помощью предложенной технологии увеличить извлечение золота из техногенных отвалов и разрабатываемых россыпных месторождений.

**Методы исследования.** В процессе работы были использованы: ситуационный анализ, обзор, анализ и систематизация данных научных работ, синтез и сравнительный анализ, анализ существующих технологических цепочек по извлечению золота.

**Результаты.** Проведенный анализ позволил сделать вывод, что при использовании современной технологии обогащения значительная доля мелкого и тонкого золота остается в отвалах. Авторами статьи предлагается новая технология, позволяющая извлекать мелкое и тонкое золото с большей эффективностью. В работе представлен и описан используемый для предварительной дезинтеграции крацовочный диспергатор с многоцелевым приводом и возможностью использования псевдокипящего слоя.

**Выводы.** Предложенная технология может быть эффективной при переработке техногенных отвалов с трудноизвлекаемым золотом.

**Ключевые слова:** предварительная дезинтеграция; крацовочный диспергатор; мелкое и тонкое золото.

**Введение.** Техногенные месторождения благородных металлов и прежде всего техногенные россыпи как объекты промышленной переработки в последние годы привлекают все большее внимание и подвергаются кардинальной переоценке в связи с двумя тенденциями. Одна из них состоит в появлении новых технологий и новых обогатительных аппаратов, позволяющих значительно повысить извлечение и улучшить экономические показатели переработки сырья, относившегося ранее к забалансовому по содержанию золота или по технологическим причинам [1–6].

Вторая тенденция заключается в неуклонном снижении среднего содержания золота в балансовых запасах целиковых россыпей при одновременном росте удельных затрат на горнокапитальные и горно-подготовительные работы. Так например, уральский регион уже с момента освоения, т. е. с начала XVIII века становится крупнейшим горнопромышленным, горноперерабатывающим и металлургическим кластером России. Вследствие этого Свердловская область относится к старопромышленным районам с большим количеством техногенных отходов [7–11].

Ресурсный потенциал техногенных золотосодержащих объектов в России оценивается в 55–60 % от добытого в стране золота. По современным оценкам, старательские артели, использующие традиционные промысловые приборы, теряют

от 20 до 50 % золота. Многочисленными исследованиями ряда научных коллективов установлено, что доля мелкого и тонкого золота в техногенных отвалах, как правило, преобладает над крупным и составляет до 90 % общего количества [10–27].

Ресурсы микронного золота только в техногенных россыпях РФ оцениваются в несколько тысяч тонн. Основные потери в силу особенностей технологии добычи россыпного золота приходятся на тонкое, пластинчатое и дисперсное. На предприятиях региона эту проблему в основном решают путем совершенствования традиционных технологических схем: применением шлюзов мелкого наполнения, отсадочной технологии, центробежной сепарации [21]. Реализация этих направлений не решает проблемы извлечения тонкодисперсного золота.

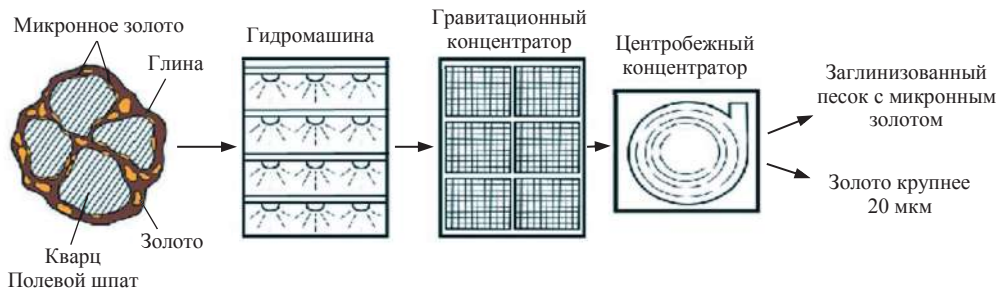


Рис. 1. Схема традиционной технологии обогащения  
Fig. 1. The scheme of the traditional processing technology

Авторами статьи предлагается новая технология с использованием предварительной дезинтеграции сырья, содержащего тонкодисперсное золото, на базе высокоэффективной измельчительной техники, использующей эффекты: механического воздействия в турбулентном потоке, кавитацию, гидравлический удар и другие. На сегодняшний день высокоэффективная измельчительная техника данного типа в процессах обогащения микронного золота по ряду причин не используется. В процессе технологического цикла возможна тонкая настройка привода: при использовании устройств преобразователей частоты с векторным управлением [19, 28–30] либо при использовании привода с цифровым управлением осуществлять циклическое воздействие на рабочее тело [20].

На рис. 1 и 2 схематически показаны традиционная технология обогащения россыпного золота и предлагаемая авторами, которая позволяет благодаря использованию высокоэффективного диспергатора извлекать микронное золото на техногенных отвалах и сильно заглинизованных россыпных месторождениях в промышленных масштабах.

Новизна технико-технологического решения заключается в разработке и применении высокоэффективного диспергатора, способного обнажить заглинизованные песчинки и полностью «распустить» высокодисперсную глину, содержащую частицы микронного золота, находящиеся как раз на поверхности контакта песчинка–глина [31, 32].

При работе по традиционной технологии высокодисперсная глина не успевает «распуститься» и освободить связанные частицы микронного золота, в результате чего значительная часть мелкого и микронного золота уходит в отвалы, образуя предварительно хорошо подготовленные скопления исходного материала для дальнейшего извлечения мелкого и микронного золота. По новой технологии вся глина на поверхности песчинок, содержащая микронное золото, проходя через высокоэффективный крацовочный диспергатор, «распускается» до коллоидного

состояния и освобождает микрочастицы золота, которые в дальнейшем улавливаются в специальных центробежных концентраторах.

Анализ методов воздействия при переработке техногенных отвалов и россыпных месторождений [21] показал преимущественное использование классификаторов и промывочных машин различных видов.

При такой технологии глина, покрывающая поверхность песчинок, содержащих мелкодисперсное золото, не «распускается» до коллоидного состояния и золото не высвобождается [21].

При использовании крацовочного диспергатора с возможностью создания псевдокипящего слоя с широким диапазоном регулирования привода, режимов вращения и направления вращения рабочего органа повышается возможность вскрытия и последующего извлечения мелкого и тонкодисперсного золота.

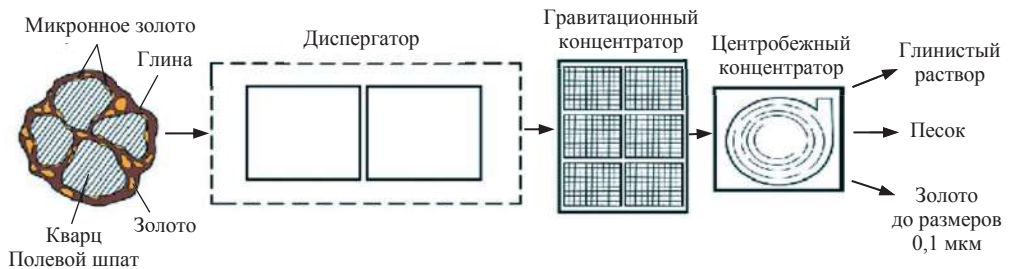


Рис. 2. Схема разработанной технологии обогащения  
Fig. 2. The scheme of the developed processing technology

**Методика.** Разработанный авторами крацовочный диспергатор с псевдокипящим слоем отличается от других промывочных машин механического типа тем, что процесс дезинтеграции глинистого материала осуществляется за счет непрерывного разрушения его поверхностного слоя крацовкой. Как показали теоретические исследования, затраты энергии на дезинтеграцию глинистого материала в диспергаторах с крацовочным оснащением ротора гораздо ниже, чем в промывочных машинах с лопастным ротором, где процесс разрушения материала носит объемный характер.

Конструктивная схема разработанного крацовочного диспергатора представлена на рис. 3. Диспергатор состоит из вертикального цилиндрического корпуса 1, с верхним направляющим аппаратом 2 и нижним выходным каналом 3. Внутренняя поверхность цилиндрического корпуса 1 футерована высокопрочной сталью 4. В корпусе 1 соосно размещен ротор 5, выполненный в виде крацовки 6, закрепленной на полом валу 7, зафиксированном в верхнем 8 и нижнем 9 подшипниковых узлах. Наличие осевого канала на валу 7 позволяет подавать в рабочую зону сжатый воздух, таким образом создается эффект псевдокипящего слоя.

Диспергатор работает следующим образом. Внутрь корпуса 1 через верхний направляющий аппарат 2 непрерывно подается пульпа, т. е. золотосодержащая заглинизованная порода. Перемещаясь в корпусе 1 сверху вниз, вмещающая порода подвергается разрушению, одновременно диспергируется в жидкой фазе под воздействием краценок 6 вращающегося ротора 5. Диспергированная глинопесчаная пульпа, содержащая микроное золото, отводится из корпуса 1 через выходной патрубок 3.

Разработанная конструкция крацовочного диспергатора позволяет производить раскрытие фракций золотосодержащего заглинизованного песка и выводить из рабочей полости готовую к разделению золотосодержащую пульпу с частица-

ми твердой фазы в виде песка и «распустившейся» до коллоидного состояния глинистой фракции с несвязанными частицами микронного золота.

В качестве основного аппарата для выделения тонкодисперсного золота рекомендуется использовать центробежный концентратор.

**Результаты исследования.** По результатам исследования изготовлен опытный образец диспергатора и проведены испытания возможности извлечения золота с его использованием из лежалого отвального сырья методом гравитационного обогащения.

Для определения возможности извлечения золота из лежалого отвального сырья (россыпей) методом гравитационного обогащения была использована проба данного материала массой около 150 кг. Материал был высушен, усреднен, отквартован.

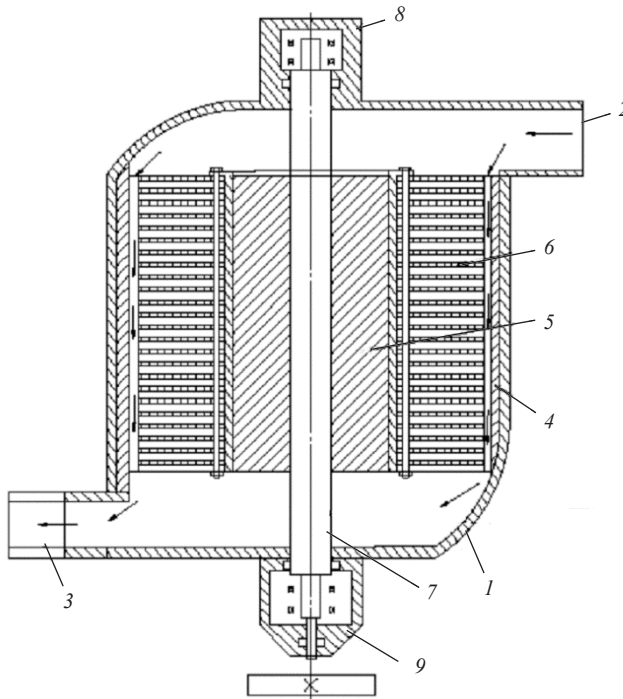


Рис. 3. Схема крацовочного диспергатора  
Fig. 3. The scheme of a scratch brushing disperser

Для определения возможности гравитационного обогащения данного сырья весь объем материала был просеян через сито 1,6 мм. Гравитационному обогащению подвергался материал класса крупности – 1,6 мм. Пробы этого материала были проанализированы на содержание Au пробирным и атомно-абсорбционным методами. Цикл лабораторных исследований по гравитационному обогащению проводили на центробежном концентраторе. Масса навески сырья для одного опыта – 10 кг. Было проведено 4 опыта для определения оптимальных параметров процесса. Результаты представлены в таблице.

В завершение исследований при гравитационном обогащении был использован материал, обработанный на крацовочном диспергаторе (опыт № 5), представляющий собой суспензию (пульпу) с глинистой составляющей данного сырья. Была отмыта порода крупнее 1,6 мм. Крупность сырья в суспензии составляла 1,6 мм. Данная суспензия была пропущена через концентратор. Сухая масса твердой составляющей – 12,754 кг.

По полученным результатам в ходе проведенных исследований выбранными параметрами для извлечения золота из лежалого отвального сырья методом гравитационного обогащения являются: частота 40 Гц; давление разжижающей жидкости 0,3 атм. Это условия опытов № 1, 3, 5, в опытах № 1, 3 при низком содержании золота в исходном материале получено самое низкое содержание золота в хвостах. В опыте № 5 при использовании крацовочного диспергатора получен наиболее богатый концентрат при наибольшем извлечении золота.

**Результаты лабораторных исследований**  
**Laboratory research results**

Показатель	Опыт № 1 $N = 40$ Гц, $P = 0,3$ атм	Опыт № 2 $N = 40$ Гц, $P = 0,5$ атм	Опыт № 3 $N = 50$ Гц, $P = 0,3$ атм	Опыт № 4 $N = 50$ Гц, $P = 0,5$ атм	Опыт № 5 $N = 40$ Гц, $P = 0,3$ атм
Содержание золота в исходном сырье, г/т	0,11	0,11	0,11	0,11	0,16
Масса полученного концентрата, г	164	165	170	163	189
Выход концентрата, %	1,64	1,65	1,7	1,63	1,48
Содержание золота в концентрате, г/т	2,7	1,7	2,7	1,8	4,0
Содержание золота в хвостах гравитационного обогащения, г/т	0,07	0,08	0,07	0,08	0,1
Извлечение золота в концентрат методом гравитационного обогащения, %	36,4	27,3	36,4	27,3	37,5

Параметры процесса гравитационного обогащения:  $N$  – частота;  $P$  – давление разжижающей жидкости.

Учитывая результаты последнего опыта с отмывкой крупной породы, следует рассмотреть этот метод более подробно. Анализируя результаты проделанных экспериментов, можно заключить, что отмывка крупной породы помогает получить более подготовленный к разделению материал, что позволяет повысить содержание несвязанного золота в суспензии и увеличить степень извлечения металла в концентрат. Следовательно, технология извлечения золота из данного сырья методом гравитационного обогащения может быть эффективной при правильном подборе оборудования, соответствующем предложенной технологической схеме.

**Выводы.** Внедрение в промышленных масштабах предлагаемой технологии может позволить перерабатывать накопленные техногенные отвалы с трудно извлекаемым мелким и тонким золотом и повысить извлечение золота на россыпных месторождениях драгоценных и редких металлов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Загайнов В. Г. Современные проблемы обогащения ультратонкого золота // Горный журнал Казахстана. 2009. № 8. С. 16–21.
2. Баранников А. Г., Устюжанина И. Ф., Хрыпова Р. Г. О «новом» золоте в некоторых россыпях Урала // Минералогия золота. Ч. 1. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1974. С. 109–110.
3. Илалтадинов И. Я. О технологических характеристиках россыпного золота // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология. Пермь, 2015. С. 81–82.
4. Кожевников М. Г. К вопросу о роли химических агентов в обогащении старых приисковых отвалов // Труды треста «Золоторазведка». 1935. Вып. 1. С. 7–13.
5. Леоненко Н. А. Лазерное агрегирование микро- и наночастиц золота из высокоглинистого минерального сырья россыпных месторождений // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. Новосибирск: Апельсин, 2010. С. 371–374.

6. Моисеенко В. Г. Роль наноразмерного золота в образовании россыпей благородного металла // Россыпи и месторождения кор выветривания: современные проблемы исследования и освоения. Новосибирск: Апелсин, 2010. С. 453–456.
7. Стровский В. Е., Кубарев М. С. Обеспечение экологической безопасности в условиях моногородов горнопромышленного комплекса // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 99–108.
8. Осовецкий Б. М. Новое нанозолото // Записки РМО. 2012. № 1. С. 88–101.
9. Обеспечение рационального и безопасного природопользования на территории Свердловской области до 2020 года: государственная программа, утв. Правительством Свердловской области от 21.10.20 № 1269-ПП. Доступ из справ.- правовой системы «Техэксперт».
10. Towards a thematic strategy on the prevention and recycling of waste. Commission of the European Communities. Communication from the Commission. Brussels, 27.05.2003, COM(2003) 301 final.
11. Stimulating technologies for sustainable development: an environmental technologies action plan the European Union. Commission of the European Communities. Communication from the Council and the European Parliament. Brussels, 28.01.2004, COM(2004) 38 final.
12. Литвинцев В. С., Банщикова Т. С., Леоненко Н. А., Алексеев В. С. Рациональные методы извлечения золота из техногенного минерального сырья россыпных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2012. № 1. С. 190–194.
13. Макаров В. А. Условия формирования техногенных золотосодержащих объектов и особенности методики их геолого-технологической оценки: дис ... докт. геол.-минер. наук. Красноярск, 2001. 269 с.
14. Меретуков М. А., Рудаков В. В., Злобин М. Н. Геотехнологические исследования для извлечения золота из минерального и технологического сырья. М.: МГУ, 2011. 438 с.
15. Наумов В. А. Техногенные преобразования золота в россыпях и отвалах // Россыпи и месторождения кор выветривания: изучение, освоение, экология. Пермь, 2015. С. 169–172.
16. Наумов В. А., Наумова О. Б. Преобразование золота в техногенных россыпях // Современные проблемы науки образования. 2013. № 5. С. 531–534.
17. Осовецкий Б. М., Баранников А. Г. «Новое» нанозолото Чернореченской россыпи // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. 2012. Вып. 15. С. 36–42.
18. Осовецкий Б. М. Наноструктура поверхности золота: монография. Пермь: ПНИПУ, 2012. 232 с.
19. Угольников А. В., Щеклеина И. Л. Автоматическая система управления песковым насосом // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 127–134.
20. Кенно Т. Шаговые двигатели и их микропроцессорные системы управления: пер. с англ. М.: Энергоатомиздат, 1978. 200 с.
21. Морозов Ю. П. Проектирование обогатительных фабрик. Ч. 2. Выбор и расчет технологического оборудования. Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2014. 266 с.
22. Beesho K., Hashimoto S. Fabrication nanoscale structures on Au surface with scanning tunneling microscope // Appl. Phys. Lett. 1994. Vol. 65. No. 17. P. 2142–2144.
23. Berman H., Harcourt G. A. Natural amalgams // American Mineralogist. 1938. Vol. 23. P. 761–764.
24. Chang T. C., Chang C. S., Lin H. N., et al. Creation of nanostructure on gold surfaces in nanocoducting liquid // Appl. Phys. Lett. 1995. Vol. 67. No. 7. P. 903–905.
25. Freise F. V. The transportation gold by organic underground solution // Econ. Geol. 1931. Vol. 26. No. 26. P. 421–431.
26. Haycock M. N. The role of the microscope in the study of gold ores // Canad. Mining and Metallurg. Bull. 1937. Vol. 40. No. 504. P. 120–138.
27. Lebreton C., Wang Z. Z. Nano-scale formation on gold surface using scanning tunneling microscope // Appl. Phys. Lett. 1998. Vol. 66. P. 777–782.
28. Glauce De Souza, Darsi Odloak, Antonio C. Zanin. Real time optimization (RTO) with model predictive control (MRC) // Computer Aided Chemical Engineering. 2009. Vol. 27. P. 1365–1370.
29. Danielle Dougherty, Doug Cooper. A practical multiple model adaptive strategy for single-loop MRC original research // Control Engineering Practice. 2003. Vol. 11. Issue 2. P. 141–159.
30. Bolognani S., Peretti L., Zigliotto M., Bertotto E. Commissioning of electromechanical confession models for high-dynamic PMSM drives // IEEE Trans. Ind. Electron. 2010. Vol. 57. No. 3. P. 1925–1936.
31. Ребиндер П. А. Поверхностные явления в дисперсных системах: избранные труды. М.: Наука, 1978. 382 с.
32. Латышев О. Г. Исследование фильтрации растворов ПАВ в скальных породах // Известия вузов. Горный журнал. 2018. № 6. С. 18–27.

Поступила в редакцию 27 декабря 2019 года

#### Сведения об авторах:

**Усов Гаврила Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и техники разведки полезных ископаемых Уральского государственного горного университета. E-mail: usov\_ga@mail.ru

**Фролов Сергей Георгиевич** – кандидат технических наук, профессор, проректор по учебной работе Уральского государственного горного университета, заведующий кафедрой технологии и техники разведки полезных ископаемых. E-mail: prorektor\_uch@ursmu.ru

**Тарасов Борис Николаевич** – кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры физики Уральского государственного горного университета. E-mail: boris.tarasov@m.ursmu.ru

## Developing the technology of extracting placer micron sized gold with the use of enclosing rock clay bond dispersion

Gavrila A. Usov<sup>1</sup>, Sergei G. Frolov<sup>1</sup>, Boris N. Tarasov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia.

### Abstract

**Introduction.** In present-day conditions due to gold ore technogenic dump piling, the development of new effective technologies of small-sized and fine-dispersed gold extraction is becoming more relevant. The authors consider and analyze the situation of gold-bearing rock extraction and processing in Russia and in the Urals.

**Research aims** to increase gold extraction out of technogenic dump and the developed gold-bearing placers with the help of the proposed technology.

**Research methodology.** In the course of work the following analyses have been used: situation analysis, survey, analysis and systematization of research data, synthesis and comparative analysis, the analysis of the existing gold extraction process chains.

**Results.** The conducted analysis has made it possible to make a conclusion that under the use of the modern processing technology the significant part of small-sized and fine-dispersed gold remains in the dumps. The authors of the article offer a new technology which allows to extract microscopic and fine gold with a greater effectiveness. The present research presents and describes the scratch brushing disperser with a multipurpose drive and the possibility to use a pseudo boiling layer, which is used for preliminary disintegration.

**Summary.** The proposed technology can be effective if used to process technogenic dumps with difficult gold.

**Key words:** preliminary disintegration; scratch brushing disperser; small-sized and fine-dispersed gold.

### REFERENCES

1. Zagainov V. G. Current problems of ultrathin gold processing. *Gornyi zhurnal Kazakhstana = Mining Magazine of Kazakhstan*. 2009; 8: 16–21. (In Russ.)
2. Barannikov A. G., Ustiuzhanina I. F., Khrypova R. G. On the “new” gold in some placers of the Urals. *Mineralogiia zolota = Gold Mineralogy*. Vladivostok, FESC AS USSR. 1974: 109–110. (In Russ.)
3. Ilaltadinov I. Ia. On the technological characteristics of placer gold. In: *Placers and deposits of weathering crusts: examination, exploitation, and ecology*. Perm; 2015: 81–82. (In Russ.)
4. Kozhevnikov M. G. On the problem of the role of chemical agents in mines old dumps processing. *Trudy tresta «Zolotorazvedka» = Proceedings of “Zolotorazvedka” Trust*. 1935; 1: 7–13. (In Russ.)
5. Leonenko N. A. Laser aggregating of micro- and nano-particles of gold out of highly clayed mineral raw material of placers. In: *Placers and deposits of weathering crusts: modern problems of examination and exploitation*. Novosibirsk: Apelsin Publishing; 2010: 371–374. (In Russ.)
6. Moiseenko V. G. The role of the nanosized gold in precious metal placers formation. In: *Placers and deposits of weathering crusts: modern problems of examination and exploitation*. Novosibirsk: Apelsin Publishing; 2010: 453–456. (In Russ.)
7. Strovskii V. E., Kubarev M. S. Ensuring ecological security in the conditions of mining monotowns. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 6: 99–108. (In Russ.)
8. Osovetskii B. M. “New nanogold”. *Zapiski RMO = Proceedings of RMS*. 2012; 1: 88–101. (In Russ.)
9. Ensuring rational and safe natural resource management at the territory of Sverdlovsk region up to 2020: governmental program approved by Sverdlovsk region Administration of 21st November 2020 no. 1269-III. Accessed from the legal reference system Tekhhekspert. (In Russ.)
10. Towards a thematic strategy on the prevention and recycling of waste. Commission of the European Communities. Communication from the Commission. Brussels, 27.05.2003, COM(2003) 301 final.
11. Stimulating technologies for sustainable development: an environmental technologies action plan the European Union. Commission of the European Communities. Communication from the Council and the European Parliament. Brussels, 28.01.2004, COM(2004) 38 final.
12. Litvintsev V. S., Banshchikova T. S., Leonenko N. A., Alekseev V. S. Effective methods of gold recovery from mining wastes of placers. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh = Journal of Mining Science*. 2012; 1: 190–194. (In Russ.)
13. Makarov V. A. *Forming conditions of technogenic gold-bearing objects and the features of their geological and technological assessment methods: DSc (Geology and Mineralogy) dissertation*. Krasnoyarsk, 2001. 269 c. (In Russ.)
14. Meretukov M. A., Rudakov V. V., Zlobin M. N. *Geotechnological research for gold recovery from mineral raw material and process feedstock*. Moscow: MMU Publishing; 2011. (In Russ.)
15. Naumov V. A. Technogenic transformations of gold in placers and dumps. In: *Placers and deposits of weathering crusts: examination, exploitation, and ecology*. Perm; 2015: 169–172. (In Russ.)
16. Naumov V. A., Naumova O. B. Changing of gold in the technogenic placers. *Sovremennye problemy nauki obrazovaniia = Modern Problems of Science and Education*. 2013; 5: 531–534. (In Russ.)

17. Osovetskii B. M., Barannikov A. G. "New" nanogold of Chernorechensky placer. *Problemy mineralogii, petrografii i metallogenii = The Problems of Mineralogy, Petrography, and Metallogeny*. Perm; 2012; 15: 36–42. (In Russ.)
18. Osovetskii B. M. *Nanostructure of gold surface: monograph*. Perm: Perm State National Research University Publishing; 2012. (In Russ.)
19. Ugolnikov A. V., Shchekleina I. L. Sand pump automatic control system. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 6: 127–134. (In Russ.)
20. Kenjo T. *Stepping motors and their microprocessor controls: translation from English*. Moscow: Energoatom izdat Publishing; 1978. (In Russ.)
21. Morozov Iu. P. *Concentrating plants design. Part 2. Selection and calculation of basic equipment*. Ekaterinburg: Fort Dialog-Iset Publishing; 2014. (In Russ.)
22. Beesho K., Hashimoto S. Fabrication nanoscale structures on Au surface with scanning tunneling microscope. *Appl. Phys. Lett.* 1994; 65 (17): 2142–2144.
23. Berman H., Harcourt G. A. Natural amalgams. *American Mineralogist*. 1938; 23: 761–764.
24. Chang T. C., Chang C. S., Lin H. N., et al. Creation of nanostructure on gold surfaces in nanocoducting liquid. *App. Phys. Lett.* 1995; 67; 7: 903–905.
25. Freise F. V. The transportation gold by organic underground solution. *Econ. Geol.* 1931; 26 (26): 421–431.
26. Haycock M. N. The role of the microscope in the study of gold ores. *Canad. Mining and Metallurg. Bull.* 1937; 40 (504): 120–138.
27. Lebreton C., Wang Z. Z. Nano-scale formation on gold surface using scanning tunneling microscope. *Appl. Phys.* 1998; 66: 777–782.
28. Glauce De Souza, Darsi Odloak, Antonio C. Zanin. Real time optimization (RTO) with model predictive control (MRC). *Computer Aided Chemical Engineering*. 2009; 27: 1365–1370.
29. Danielle Dougherty, Doug Cooper. A practical multiple model adaptive strategy for single-loop MRC original research. *Control Engineering Practice*. 2003; 11 (2): 141–159.
30. Bolognani S., Peretti L., Zigliotto M., Bertotto E. Commissioning of electromechanical confession models for high-dynamic PMSM drives. *IEEE Trans. Ind. Electron.* 2010; 57; 3: 1925–1936.
31. Rehbinder P. A. *Surface phenomena in dispersed systems. Physical-chemical mechanics. Selected works*. Moscow, Nauka Publ., 1978. 382 p. (In Russ.)
32. Latyshev O. G. Research of surfactant solutions filtration in hard rocks. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2018; 6: 18–27. (In Russ.)

Received 27 December 2019

#### Information about authors:

**Gavrila A. Usov** – PhD (Engineering), Associate professor, associate professor of the Department of Technology and Technique of Mineral Deposits Exploration, Ural State Mining University. E-mail: usov\_ga@mail.ru

**Sergei G. Frolov** – PhD (Engineering), Professor, vice-rector for academic affairs, Ural State Mining University, Head of the Department of Technology and Technique of Mineral Deposits Exploration. E-mail: prorector\_uch@ursmu.ru

**Boris N. Tarasov** – PhD (Physics and Mathematics), Associate professor, associate professor of the Department of Physics, Ural State Mining University. E-mail: boris.tarasov@m.ursmu.ru

**Для цитирования:** Усов Г. А., Фролов С. Г., Тарасов Б. Н. Разработка технологии извлечения россыпного микронного золота с использованием диспергирования глинистой составляющей вмещающих пород // Известия вузов. Горный журнал. 2019. № 5. С. 75–82. DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-75-82

**For citation:** Usov G. A., Frolov S. G., Tarasov B. N. Developing the technology of extracting placer micron sized gold with the use of enclosing rock clay bond dispersion. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2019; 5: 75–82 (In Russ.). DOI: 10.21440/0536-1028-2018-6-75-82