

Обоснование параметров автоматизированной системы управления подачей песков на перерабатывающем комплексе при эксплуатации россыпных месторождений золота

Р.С. Серый, А.Д. Васюта ✉, К.А. Журавлев

Институт горного дела Хабаровского исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация
✉ Vasyuta.aleksey.igd@gmail.ru

Резюме: Современные условия эксплуатации россыпных месторождений золота характеризуются высокой динамичностью технологических процессов и существенной изменчивостью исходного сырья. В таких условиях возрастают требования к надежности, энергоэффективности и стабильности функционирования обогатительного оборудования. В статье представлены результаты исследования и практического внедрения автоматизированной системы управления подачей песков и технологической воды на перерабатывающем комплексе с использованием промывочного прибора ПБШ-100. На основе анализа факторов, влияющих на потери золота и энергоемкость процесса обогащения, обоснованы параметры системы регулирования подачи пульпы, обеспечивающей поддержание оптимального соотношения твердой и жидкой фаз в режиме реального времени. Разработаны алгоритмы адаптивного управления, реализованные через программируемые логические контроллеры, частотно-регулируемые приводы. Проведены промышленные испытания системы на предприятиях Дальнего Востока России, показавшие снижение удельного расхода топлива до 42,2%, снижение количества технологической воды до 20%, уменьшение числа простоев оборудования и повышение стабильности процессов обогащения. Полученные результаты подтверждают эффективность предложенных решений для модернизации промывочных комплексов, особенно в удалённых районах с ограниченной инфраструктурой. Автоматизация подачи песков обеспечивает рост извлечения мелкодисперсного золота, снижение эксплуатационных расходов и повышение технико-экономических показателей отработки россыпного месторождения.

Ключевые слова: промывочные приборы, автоматизация технологических процессов, россыпные месторождения золота, частотно-регулируемые приводы, энергоэффективность, система управления, пульпа, переработка песков

Благодарности: Исследования проведены с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «Центр исследования минерального сырья» ХФИЦ ДВО РАН, финансируемого Российской Федерацией в лице Минобрнауки России по соглашению №075-15-2025-621

Для цитирования: Серый Р.С., Васюта А.Д., Журавлев К.А. Обоснование параметров автоматизированной системы управления подачей песков на перерабатывающем комплексе при эксплуатации россыпных месторождений золота. *Горная промышленность*. 2026;(2):129–134. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-129-134>

Justification of parameters for an automated control system of sand feeding in a processing plant when operating placer gold deposits

R.S. Seryi, A.D. Vasyuta ✉, K.A. Zhuravlev

Mining Institute of Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation
✉ Vasyuta.aleksey.igd@gmail.ru

Abstract: Contemporary operating conditions of placer gold deposits are characterized with highly dynamic technological processes and a significant variability of raw materials. Such conditions result in rising demands towards reliability, energy efficiency, and stability of processing equipment operation. The article presents the results of research and practical implementation of an automated system to control feeding of sands and process water at a processing plant that uses the PBSh-100 washing device. Parameters of the pulp feed control system are justified to ensure maintenance of an optimal solid-liquid ratio in real time based on analyzing the factors affecting gold losses and energy consumption of the washing process.

Adaptive control algorithms have been developed and implemented using programmable logic controllers with variable frequency drives. Commercial tests of the system were performed at enterprises in the Russian Far East, showing a drop in the specific fuel consumption by up to 42.2%, a reduction in the volume of the process water by up to 20%, a decrease in equipment downtime, and improved stability of the washing processes. The results confirm the efficiency of the proposed solutions to upgrade the washing plants, especially in remote areas with limited infrastructure. Automation of sand feeding ensures increased recovery of fine gold, reduced operating costs, and improved technical and economic performance of the placer deposit development.

Keywords: washing devices; automation of technological processes, placer gold deposits, variable frequency drives, energy efficiency, control system, pulp, sand processing

Acknowledgements: The studies were carried out using the resources of the Mineral Resources Research Center for Shared Use at the Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, funded by the Russian Federation represented by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation under project No. 075-15-2025-621

For citation: Seryi R.S., Vasyuta A.D., Zhuravlev K.A. Justification of parameters for an automated control system of sand feeding in a processing plant when operating placer gold deposits. *Russian Mining Industry*. 2026;(2):129–134. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2026-2-129-134>

Введение

Современные условия разработки россыпных месторождений золота характеризуются нарастающими требованиями к эффективности и устойчивости производственных процессов [1; 2]. В условиях высокой конкуренции и роста затрат на энергоресурсы, эксплуатацию техники и труд особую значимость приобретает оптимизация процессов переработки песков, ключевого этапа в получении концентрата золота, непосредственно влияющего на технико-экономические показатели отработки месторождения.

Россыпные месторождения имеют ряд особенностей [1; 3–5]: неравномерное распределение полезного компонента, высокая степень неоднородности гранулометрического и минерального состава, сезонный характер их отработки и применение циклических технологий, нестабильность водоснабжения, климатических условий и др. Эти факторы затрудняют обеспечение равномерной подачи сырья, поддержание оптимальных режимов обогащения и стабильное качество получаемых полезных ископаемых и концентратов. В результате возникают частые отклонения от проектных параметров, увеличивается расход электроэнергии и технологической воды, повышается износ оборудования и снижается эффективность обогащения.

Традиционные подходы к управлению технологическим процессом, основанные на ручной корректировке параметров и визуальном контроле, оказываются недостаточными в условиях частых изменений исходных данных [6]. Современное развитие технологий автоматизации и цифрового мониторинга [7–9] позволяет внедрять интеллектуальные системы, способные адаптироваться к текущим условиям отработки месторождения, предсказывать отклонения и самостоятельно управлять процессами в режиме реального времени. Однако для успешного внедрения таких систем в условиях отработки россыпного месторождения необходимо учитывать специфику самих процессов: характер движения пульпы, колебания плотности, расхода, состава сырья. Это требует научного обоснования выбора параметров автоматизированной системы управления, разработки алгоритмов регулирования и построения структурных схем, оптимизированных под реальные горно-геологические условия россыпного месторождения.

Разработка параметров и алгоритмов автоматизированной системы управления процессами переработки песков на россыпных месторождениях золота с учётом их природ-

ной и технологической неоднородности является актуальной задачей как с научной, так и с производственной точки зрения.

Материалы и методы

В ходе исследования применялся комплекс общенаучных и специальных методов, обеспечивающих всестороннее изучение объекта и обоснование предлагаемых решений. Использованы методы анализа и синтеза, наблюдения, сравнения и описания, а также статистические, математические и графические методы обработки и интерпретации данных. Такой подход позволил получить достоверные результаты и выявить закономерности функционирования технологического оборудования при переработке золото-содержащих песков различной промывистости.

Исследование включало анализ современного состояния и тенденций развития золотодобывающей отрасли, изучение строения и классификации россыпных месторождений, а также особенностей их залегания и влияния различных факторов на технико-экономические показатели отработки месторождения. В рамках работы проведён анализ технологических процессов обогащения золотосодержащих песков, энергоёмкости применяемого оборудования и возможностей её снижения за счёт внедрения автоматизации. Для оценки эффективности различных типов промывочных приборов использованы сравнительные данные по производительности, расходу топлива и затратам (табл. 1).

Проведён комплекс экспериментальных исследований, включающих сбор и обработку данных по расходу топлива, потреблению технологической воды и параметрам загрузки оборудования при различных режимах работы. На основании полученных данных разработан алгоритм автоматизированного регулирования подачи песков и воды, обеспечивающий адаптивное функционирование технологического оборудования в условиях изменяющихся свойств минерального сырья и неравномерной его подачи. Автоматизированная система реализована на основе программируемого логического контроллера (ПЛК), частотно-регулируемых приводов и сенсоров технологических параметров, интегрированных в SCADA-интерфейс, обеспечивающий визуализацию, дистанционное управление и сбор статистики работы оборудования [10; 11].

Промышленные испытания проводились на промывоч-

Таблица 1
Эксплуатационные показатели промывочных приборов

Table 1
Operating performance of the washing units

Наименование	ППМ-5	ГИТ-52	ПГШ-50	ПЗШ-100	ПБШ-100
Производительность паспортная, м³/ч	100	200	50	100	100
Производительность фактическая, м³/ч	70	100	40	90	90
Установленная мощность привода, кВт	45	18	0	368	55
Марка используемого насоса, обороты насоса	1Д-1250-63, 1000	1Д-630-90, 1000	1Д-1250-63, 1500	1Д-1250-63, 1500	1Д-800-56, 1000
Установленная мощность насоса, кВт	90	80	290	290	75
Суммарная установленная мощность, кВт	135	98	290	658	130
Суммарный суточный расход диз. топлива, т	0,51	0,39	1,04	2,12	0,50
Масса прибора, т	36,4	17	25	35	24
Годовые эксплуатационные затраты, млн руб.	3,5	0,5	0,8	5	1
Сезонная производительность, работа 20 ч/сут 150 дн/год, тыс. м³	210	300	120	270	270
Сезонный расход топлива, 150 сут, т	76,5	58,3	155,3	317,6	74,7
Удельный расход топлива, кг/м³	0,36	0,19	1,29	1,18	0,28
Удельные затраты работы прибора на 1 м³ песков, руб.	32	17	115	105	25
Энергоемкость подачи воды от общей энергоемкости, %	66,7	81,6	100,0	44,1	59,3

Таблица 2
Технические характеристики
ПБШ-100 со шлюзовой приставкой

Table 2
Technical specifications of the
PBSH-100 washing unit with a
sluice box

Технические характеристики	Значение
Средняя производительность по пескам, м³/ч	100
Масса прибора, т	24
Суммарная установленная мощность привода скруббер-бутары, кВт (об/мин)	60 (1500)
Регулируемая частота вращения скруббер-бутары, об/мин	9,5–14,0
Габаритные размеры прибора в сборе Д×Ш×В, мм	13000×2400×4200
Габаритные размеры несущей рамы – саней Д×Ш, мм	10500×2400
Длина бочки скруббер-бутары, мм	9300
Диаметр входного отверстия скруббер-бутары, мм	900
Диаметр скруббер-бутары, мм	1900
Длина дезинтегрирующего става, мм	3500
Длина сеющего става, мм	4500
Внутренняя поверхность дезинтегрирующего става футерована полиуретановыми лифтерами-дезинтеграторами, шт.	120
Приемный бункер (загрузочная часть) Д×Ш, мм	2400×2400
Труба оросительная завалочного бункера, диаметр, мм	50
Труба оросительная скруббер-бутары, диаметр, мм	159
Сита полиуретановые с защитными ребрами, шт.	168
Размер отверстий полиуретановых сит, мм	7–20
Шлюза мелкого наполнения 4 шт. Д×Ш, мм	7000×750
Высота трафаретов лестничных, мм	25 мм
Ковры дражные, м²	21
Производительность насоса 1Д-800-56б, м³/ч	500
Напор, развиваемый насосом, м	32

ном приборе ПБШ-100, перерабатывающем пески россыпного месторождения золота руч. Сыран (Хабаровский край). Промприбор оснащен шлюзовой приставкой, обеспечивающей переработку золотосодержащих песков различной промывистости при средней производительности 100 м³/ч (рис. 1). Конструктивные решения прибора направлены на повышение надёжности, упрощение технического обслуживания и увеличение ресурса работы в тяжёлых производственных условиях. Основные технические характеристики ПБШ-100 представлены в табл. 2. Особое внимание уделялось конструкции привода скруббер-бутары, износостойкости элементов и удобству управления процессом. Привод выполнен на базе четырёх мотор-редукторов специальной конструкции, что позволило исключить промежуточные валы и повысить надёжность системы. Управление осуществляется через шкаф с частотным преобразователем, обеспечивающим регулировку скорости вращения и визуальный контроль нагрузки с помощью сигнальной колонны (рис. 2).

В течение промывочного сезона (150 сут) на россыпи руч. Сыран для подачи технологической воды для обогащения песков применялись насосы 1Д 800-56 мощностью 55 кВт или 1Д 800-56Б мощностью 110 кВт. Перед установкой автоматизированного шкафа управления регулировка насосов не осуществлялась, и они работали с постоянной мощностью. После установки автоматики производилась частотная и токовая регулировка насосов, что позволило снизить потребление энергии в зависимости от загрузки промприборов песками. Регистрация данных, с которыми можно было ознакомиться на панели шкафа управления, а также осуществить их вывод в таблицу формата Excel для дальнейшего анализа, производилась



Рис. 1
Промывочный прибор
ПБШ-100

Fig. 1
The PБSh-100 washing unit

с шагом 10–15 с. Фиксировались такие показатели, как ток, частота, производительность насосов, расход энергии и соотношение твёрдой и жидкой фаз на шлюзах.

Результаты

На основе данных, полученных в экспериментальных исследованиях, произведен сравнительный анализ применяемых насосов до и после установки автоматизированной системы (табл. 3, 4), который показал, что использование автоматизированной системы управления позволяет достичь значительного экономического эффекта.

Графики изменения производительности насосов и их энергопотребления в зависимости от загрузки промывочного прибора песками показаны на рис. 3, 4.

На графиках видно, что изменение производительности прибора по пескам приводит к синхронному снижению подачи воды, обеспечивая минимальные колебания соотношения твёрдой и жидкой фаз Т:Ж. График энергопотребления насоса показывает пульсирующую динамику с регулярным снижением и повышением значений, связанную с изменениями нагрузки, и согласуется с циклом подачи песков.

По совокупным данным экономия за промывочный сезон (150 сут) при использовании насоса 1Д 800-56 мощностью 55 кВт со-



Рис. 2
Шкаф управления
промприбором
с сигнальной колонной

Fig. 2
Control cabinet
of the washing unit
with a signal tower

Таблица 3
Сравнительный анализ насоса 55 кВт

Table 3
Comparative analysis of the 55 kW pump

Показатель	До автоматизации	После автоматизации
Расход топлива, кг/сут	344,4	228
Расход топлива, кг (150 дн.)	51 660	34 200
Стоимость топлива, руб/год (80 руб/кг)	4 132 800	2 736 000
Объем промытой породы, м ³ /сут	1450	1450
Удельный расход, г/ м ³	237	184
Обслуживающий персонал, чел.	1	1
Расходы на обслуживание, руб/год	800 000	600 000
Количество внеплановых ремонтов	2	1

Таблица 4
Сравнительный анализ насоса 110 кВт

Table 4
Comparative analysis of the 110 kW pump

Показатель	До автоматизации	После автоматизации
Расход топлива, кг/сут	537,6	310,8
Расход топлива, кг/год (150 дн.)	80 640	46 620
Стоимость топлива, руб/год (80 руб/кг)	6 451 200	3 729 600
Объем промытой породы, м ³ /сут	2200	2200
Удельный расход, г/ м ³	244	143
Обслуживающий персонал, чел.	1	1
Расходы на обслуживание, руб/год	1 000 000	700 000
Количество внеплановых ремонтов	3	1

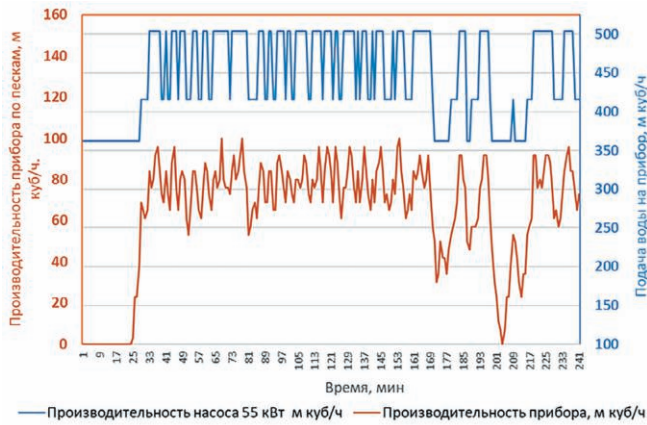


Рис. 3
Производительность насоса 1Д 800-56

Fig. 3
Performance of the 1D 800-56 pump

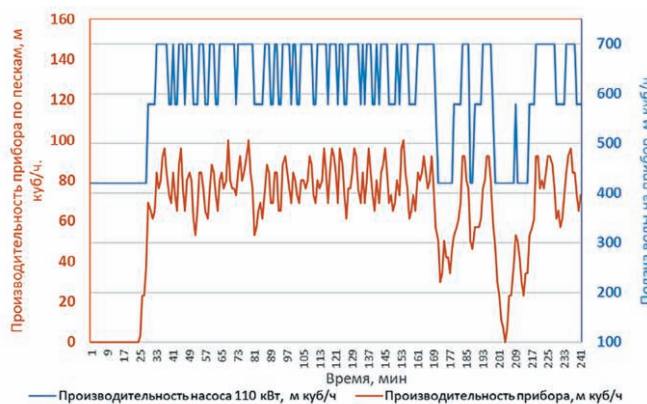


Рис. 4
Производительность насоса 1Д 800-56Б

Fig. 4
Performance of the 1D 800-56B pump

ставила 2,35 млн руб. при капитальных вложениях в размере 1,8 млн руб. Это обеспечило срок окупаемости менее четырёх месяцев и коэффициент экономической эффективности на уровне 1,3, что превышает нормативное значение 0,33 более чем в 4 раза. Затраты на дизельное топливо снизились на 33,7%, расход технологической воды – на 20%.

При использовании насоса 1Д 800-56Б мощностью 110 кВт экономия за промывочный сезон (150 сут) составила 3,77 млн руб. при тех же капитальных вложениях. Это обеспечило срок окупаемости менее трех месяцев и коэффициент экономической эффективности на уровне 2,1, что превышает нормативное значение 0,33 более чем в 6 раз. Затраты на дизельное топливо снизились на 42,2%, расход технологической воды – на 20%.

В условиях удалённого расположения артели применение автоматизированной системы управления насосными

установками подтверждает свою эффективность не только с технологической, но и с экономической точки зрения. Автоматизация позволила значительно сократить расход дизельного топлива, стабилизировать работу оборудования, снизить потребность в постоянном присутствии обслуживающего персонала и минимизировать внеплановые простои. Это привело к снижению эксплуатационных затрат и повышению общей рентабельности производственного процесса. Полученные результаты демонстрируют практическую значимость реализованного подхода и подтверждают его пригодность для масштабирования и внедрения в аналогичных условиях, особенно на предприятиях, расположенных в труднодоступных регионах с высокой логистической нагрузкой и ограниченными инфраструктурными возможностями.

Заключение

Проведённые исследования и промышленные испытания подтвердили эффективность применения автоматизированной системы управления подачей песков и технологической воды на перерабатывающем комплексе при эксплуатации россыпных месторождений золота. Разработанная система обеспечивает устойчивое функционирование обогатительного оборудования, повышение его производительности и энергоэффективности, а также снижение эксплуатационных затрат.

На основе анализа характеристик золотосодержащих песков различной промывистости и параметров работы промывочного прибора ПБШ-100 обоснованы алгоритмы адаптивного управления процессами переработки. Реализованные технические решения, включающие применение частотно-регулируемых приводов, сенсоров плотности и расхода пульпы, а также SCADA-платформы, позволили достичь значительного снижения удельного расхода топлива (до 42,2%) и технологической воды (до 20%), увеличить извлечение мелкодисперсного золота на 10%, снизить количество внеплановых ремонтов и повысить коэффициент технической готовности оборудования.

Экономический анализ показал, что срок окупаемости внедрённой системы составляет менее четырёх месяцев. Эти результаты подтверждают целесообразность внедрения автоматизации на промывочных установках предприятий россыпной золотодобычи, особенно в условиях удалённых и труднодоступных районов с высокой стоимостью топлива и обслуживания техники.

Разработанная автоматизированная система может применяться как при модернизации действующих обогатительных установок, так и при проектировании новых промывочных комплексов. Её масштабируемость и адаптивность к изменяющимся условиям обеспечивают высокий потенциал использования в других секторах горнодобывающей промышленности, где требуется повышение энергоэффективности и надёжности технологического оборудования.

Список литературы / References

1. Прокопьева С.А., Прокопьев Е.С., Кадесников И.В., Черимичкина Н.А. Актуальные способы отработки техногенных россыпных месторождений золота с технологией извлечения мелкого золота. *Науки о Земле и недрапользование*. 2020;43(4):458–466. <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>
Prokopiev S.A., Prokopiev E.S., Kadesnikov I.V., Cherimichkina N.A. Current methods of technogenic gold placer deposit mining with small size gold extraction technology. *Earth Sciences and Subsoil Use*. 2020;43(4):458–466. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2686-9993-2020-43-4-458-466>

2. Дорош Е.А., Тальгамер Б.Л. Обоснование рациональных способов вовлечения в разработку отвалов россыпной золотодобычи. *Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова*. 2022;20(3):64–76. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-64-76>
Dorosh E.A., Talgamer B.L. Rationale for Feasible Ways of involving dumps of placer gold mining in the development. *Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University*. 2022;20(3):64–76. (In Russ.) <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2022-20-3-64-76>
3. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Алексеев В.С. Закономерности процесса формирования техногенных россыпей благородных металлов в современных условиях. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2011;(8):135–145. Мамаев Ю.А., Litvintsev V.S., Alekseev V.S. Regularities in formation of man-made placers of precious metals in modern conditions. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. Gornyy Zhurnal*. 2011;(8):135–145. (In Russ.)
4. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Алексеев В.С. Процессы формирования продуктивного пласта техногенных россыпей благородных металлов. *Тихоокеанская геология*. 2012;31(4):106–112. Режим доступа: http://itig.as.khb.ru/POG/2012/n_4/PDF/105-112.pdf (дата обращения: 03.12.2025).
Мамаев Ю.А., Litvintsev V.S., Alexeev V.S. Processes of a productive layer formation of the noble metals technogene placers. *Tikhookeanskaya Geologiya*. 2012;31(4):106–112. (In Russ.) Available at: http://itig.as.khb.ru/POG/2012/n_4/PDF/105-112.pdf (accessed: 03.12.2025).
5. Алексеев В.С., Таганов В.В., Васюта А.Д. Исследование миграции частиц золота в техногенных песках россыпных месторождений. *Обогащение руд*. 2022;(5):34–39. <https://doi.org/10.17580/or.2022.05.06>
Alekseev V.S., Taganov V.V., Vasyuta A.D. Study on migration of gold particles in technogenic sands of placer deposits. *Obogashchenie Rud*. 2022;(5):34–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/or.2022.05.06>
6. Васюта А.Д., Журавлев К.А. Анализ работы шлюзовых промывочных приборов и оценка их энергоёмкости. *Проблемы недропользования*. 2023;(2):32–39. <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.02.032>
Vasyuta A.D., Zhuravlev K.A. Operation analysis of lock flushing devices and evaluation of their energy intensity. *Problems of Subsoil Use*. 2023;(2):32–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.25635/2313-1586.2023.02.032>
7. Mathioudakis S., Xiroudakis G., Petrakis E., Manoutsoglou E. Alluvial gold mining technologies from ancient times to the present. *Mining*. 2023;3(4):618–644. <https://doi.org/10.3390/mining3040034>
8. Mishra AK. AI4R2R (AI for Rock to Revenue): A review of the applications of ai in mineral processing. *Minerals*. 2021;11(10):1118. <https://doi.org/10.3390/min11101118>
9. Neesse Th., Golyk V., Kaniut P., Reinsch V. Hydrocyclone control in grinding circuits. *Minerals Engineering*. 2004;17(11-12):1237–1240. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2004.06.025>
10. Yadav G., Paul K. Architecture and security of SCADA systems: A review. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*. 2021;34:100433. <https://doi.org/10.1016/j.ijcip.2021.100433>.
11. Козин В.З., Тихонов О.Н. Опробование, контроль и автоматизация обогатительных процессов. М.: Недра; 1990. 343 с. Режим доступа: https://vuzdgt.ucoz.com/oprobovanie_i_kontrol_tekh-processov_obogashhenija.pdf (дата обращения: 13.02.2026).

Информация об авторах

Сергей Руслан Сергеевич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией разработки россыпных месторождений, Институт горного дела Хабаровского исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: ruslan_ssr@mail.ru

Васюта Алексей Дмитриевич – младший научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; <https://orcid.org/0000-0002-5227-8982>; e-mail: vasyuta.aleksey.igd@gmail.com

Журавлев Кирилл Аркадьевич – младший научный сотрудник, Институт горного дела Хабаровского исследовательского центра Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Хабаровск, Российская Федерация; e-mail: kirill_dguravlev@mail.ru

Information about the authors

Ruslan S. Seryi – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Laboratory for Development of Placer Deposits, Mining Institute of Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: ruslan_ssr@mail.ru

Aleksey D. Vasyuta – Junior Research Associate, Mining Institute of Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; <https://orcid.org/0000-0002-5227-8982>; e-mail: vasyuta.aleksey.igd@gmail.com

Kirill A. Zhuravlev – Junior Research Associate, Mining Institute of Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Khabarovsk, Russian Federation; e-mail: kirill_dguravlev@mail.ru

Article info

Received: 13.12.2025

Revised: 09.02.2026

Accepted: 10.02.2026

Информация о статье

Поступила в редакцию: 13.12.2025

Поступила после рецензирования: 09.02.2026

Принята к публикации: 10.02.2026