

ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)  
УДК 622.765  
DOI: 10.18503/1995-2732-2020-18-4-12-23



## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОВМЕСТНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РУД И РОССЫПЕЙ ЗОЛОТА

Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Троценко И.Г.

Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Владикавказ, Россия

**Аннотация.** Постановка задачи: горизонтальная интеграция золотодобывающих предприятий различной производственной мощности решает актуальную задачу увеличения производства золота за счет освоения месторождений с небольшим запасом золота, а также техногенных отходов с получением экономического эффекта. Цель работы: разработка организационно-технологического подхода к совместному освоению (например, холдингом) группы территориально сближенных золотосодержащих объектов, отличающихся запасами золота, при котором за счет эффекта масштаба достигается операционная синергия: при сохранении производственных мощностей и численности работников удельные инвестиционные, технологические и организационные затраты уменьшаются; холдинг приносит большую совокупную стоимость, чем действия отдельных предприятий в сумме. Новизна: выявлена и обоснована возможность совместной переработки золотосодержащих руд и техногенных отходов россыпной золотодобычи, что дает возможность рассматривать их минерально-сырьевые базы как запасы единого месторождения, отрабатываемые предприятиями холдинга, что обеспечивает снижение удельных капитальных вложений и эксплуатационных затрат за счет увеличения производственной мощности предприятия. Результат: подтверждена высокая технологическая эффективность извлечения золота флотацией из искусственной шихты, составленной из тяжелого шлиха, выделенного из гале-эфельных отвалов гравитационными методами обогащения, и руд коренного месторождения золота. Результаты лабораторных исследований использованы при моделировании денежных потоков при совместной переработке этих георесурсов. Критериями оценки технологии выбраны чистый денежный доход и внутренняя норма доходности. Практическая значимость: значения экономических критериев позволяют рассматривать совместную переработку руд и россыпей золота с применением разработанных технологических решений как экономически эффективный инновационный проект.

**Ключевые слова:** рудное золото, техногенная россыпь, совместная переработка, гравитация, флотация, экономическая оценка.

© Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Троценко И.Г., 2020

### Для цитирования

Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Троценко И.Г. Технико-экономическое обоснование эффективности совместной переработки руд и россыпей золота // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2020. Т.18. №4. С. 12–23. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-4-12-23>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.  
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

# FEASIBILITY STUDY OF THE JOINT PROCESSING OF GOLD ORES AND PLACERS

Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Trotsenko I.G.

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia

**Abstract. Problem Statement:** A horizontal integration of gold mining enterprises of various production capacity solves the urgent problem of increasing gold production by developing deposits with a small stock of gold, as well as man-made waste with an economic effect. **Objectives:** Development of an organizational and technological approach to the joint development (for example, by a holding) of a group of geographically close gold-bearing facilities, differing in gold reserves, and operational synergy is achieved due to economies of scale. While maintaining production capacity and number of employees, specific investment, technological and organizational costs decrease; the holding brings in more aggregate value than operations of individual enterprises in total. **Originality:** The authors revealed and substantiated the joint processing of gold-bearing ores and man-made waste from alluvial gold mining, which made it possible to consider their mineral resource bases as reserves of a single deposit developed by the holding's enterprises, while reducing specific capital expenditure and operating cost by increasing the production capacity of the enterprise. **Findings:** The research proved high technological efficiency of gold recovery by flotation from an artificial charge made up of heavy concentrate separated from boulders and dredging waste by gravity concentration methods and ores of the primary gold deposit. The laboratory studies were used to simulate cash flows resulting from the joint processing of these georesources. The technology assessment criteria are net cash income and internal rate of return. **Practical Relevance:** The values of the economic criteria allow us to consider the joint processing of ores and placers of gold using the developed technological solutions as a cost-effective innovative project.

**Keywords:** ore gold, technology-related placer, joint processing, gravity, flotation, economic assessment.

## For citation

Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Trotsenko I.G. Feasibility Study of the Joint Processing of Gold Ores and Placers. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2020, vol. 18, no. 4, pp. 12–23. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2020-18-4-12-23>

## Введение

За период интенсивного освоения россыпей золота в России накоплено около 110 млрд т отвалов. С ними потеряно от 25 до 75% золота от его количества в россыпи, что составляет 7–12% в структуре ресурсов и запасов золота РФ [1–7].

Добыча золота из россыпи выгодна при выработке 1–3 кг золота в год на человека. Однако при содержании в техногенных отходах золота на уровне 100–150 мг/м<sup>3</sup> количества добываемого металла недостаточно для окупаемости капитальных вложений в приемлемые для инвестора сроки [8–11].

Для крупных вертикально-интегрированных холдингов освоение месторождений с небольшим запасом золота (а также доработка старых месторождений после достижения определенных технологических и экономических границ) в условиях несовершенства налоговой системы, резких изменений конъюнктуры и цен на мировых рынках металлов становится экономически нецелесообразной: капитальные вложения в строительство ЗИФ достигают US\$ 43–50 на 1 т

годовой переработки руды, инвестиционные циклы длительные (до 10 лет), рентабельность производства низкая (0–10%) [12–15].

В звене «спрос-предложение» техногенные отходы приобретут свойство инвестиционного товара при условии, что их будут отрабатывать малые предприятия (артели старателей) высокопроизводительными технологиями [16].

Увеличение производственной мощности предприятия возможно за счет горизонтальной интеграции (слияния и поглощения – mergers and acquisitions – M&A) территориально сближенных объектов, например руд со средними и россыпями с малыми запасами золота. Объекты в группе осваивают последовательно или параллельно как участки одного крупного месторождения (холдингом). За счет эффекта масштаба достигается операционная синергия: при сохранении производственных мощностей и численности работников удельные инвестиционные, технологические и организационные затраты уменьшаются; холдинг приносит большую совокупную стоимость, чем действия отдельных предприятий в сумме [17–19].

Значимыми доводами в пользу освоения небольших запасов малыми предприятиями (в форме ООО, производственных кооперативов) выступают такие аргументы, как: скромные требования к инфраструктуре при сезонном режиме работы, быстрый ввод в эксплуатацию производственных мощностей, оперативность реагирования на изменение внешних условий, высокая ликвидность, отсутствие рисков, связанных с падением на фондовом рынке цен на акции и необходимости выплаты дивидендов акционерам, выплаты процентов по инвестициям и кредитам менее обременительны, возможна экономия за счет создания новой системы управления [20].

### Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Объектами исследования были техногенные отвалы промывки россыпи золота р. Омчак и проба золотосодержащих руд месторождения Павлик (Магаданская обл.).

Техногенные отвалы образованы при промывке песков золото-кварцевой аллювиальной долинной россыпи гидроэлеваторными промприборами (типа ПГШ).

В техногенных отвалах золото мелкое и тонкодисперсное: более 85% металла заключено во фракции крупностью менее 0,5 мм. Основная масса частиц золота претерпела техногенное воздействие. Частицы раскатаны в тонкие пластиинки, контуры разорванные. Отмечаются продолговатые по форме зерна. По цвету золото ярко-желтое, соломенно-желтое. Единичные зерна в оксидных пленках. Поверхность частиц неровная, шероховатая.

В тяжелый шлих извлекается до 2,7% материала эфелей. В нем содержится 9,9% сильномагнитных минералов (магнетит, мартит), 66,1% слабомагнитных (ильменит, сидерит, гранат) и 24,0% немагнитных минералов (золото, кассiterит, циркон, галенит и самородный свинец, сфен, рутил). Нерудные минералы представлены в основном кварцем, полевым шпатом и минералами глины, комплексом слюдисто-гидрослюдистых минералов.

В пробе золотосодержащей руды главными рудными минералами являются (в порядке убывания) арсенопирит, пирит и золото; сфалерит, медный колчедан, пирротин и галенит относят к минералам вторичной руды. Нерудные минералы – кварц, полевые шпаты, каолинит и другие

глинистые минералы, кальцит, другие карбонаты и углистое вещество.

Размер зерен золота от 0,001 до 0,3–0,5 мм; форма золотин чешуйчатая, пластинчатая.

При измельчении до крупности менее 0,1 мм рациональным анализом установлены следующие формы золота: свободное – 77,3%, в пленках гидроокислов – 8,1%, скрыто в сульфидах – 8,4%, тонко вкраплено в силикатах и сорбировано углистым веществом – 8,2%.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации проекта совместного освоения группы территориально сближенных золотосодержащих объектов, отличающихся запасами золота, разработана технологическая схема переработки малообъемных отходов россыпной золотодобычи.

С учетом обогатимости сырья и сведения к минимуму капитальных затрат, для извлечения золота из гале-эфельных отходов используют гравитационные методы обогащения, а в качестве основного аппарата для сепарации материала по плотности приняты винтовые сепараторы. В основной операции сепарации организовано струйное противоточное движение чернового концентрата и исходного питания. Винтовые сепараторы также установлены для контрольного извлечения золота из хвостов основной сепарации перед выводом их в отвал. Тяжелую фракцию винтовых сепараторов перечищают на концентрационных столах. Промпродукты из последующих операций обогащения возвращают в предыдущие.

С применением этой схемы (рис. 1) в промышленных условиях золотодобычи малым горным предприятием (ООО «НПП ГЕОС») при пилотных испытаниях промывочного комплекса ПГШОК-50-2 из 275,2 тыс. м<sup>3</sup> гале-эфельных отвалов извлекли 37,78 кг золота.

В качестве критерия оценки результатов опытно-промышленного освоения гале-эфельных отходов промывки россыпи золота прошлых лет выбран чистый дисконтированный доход (ЧДД/НРВ). Величина ЧДД позволяет в динамике оценить доходность вложения средств инвестора в проект. Расчеты выполнены на основе данных, полученных в ходе опытно-промышленной практики извлечения золота из техногенных золотосодержащих ресурсов малым горным предприятием (табл. 1).

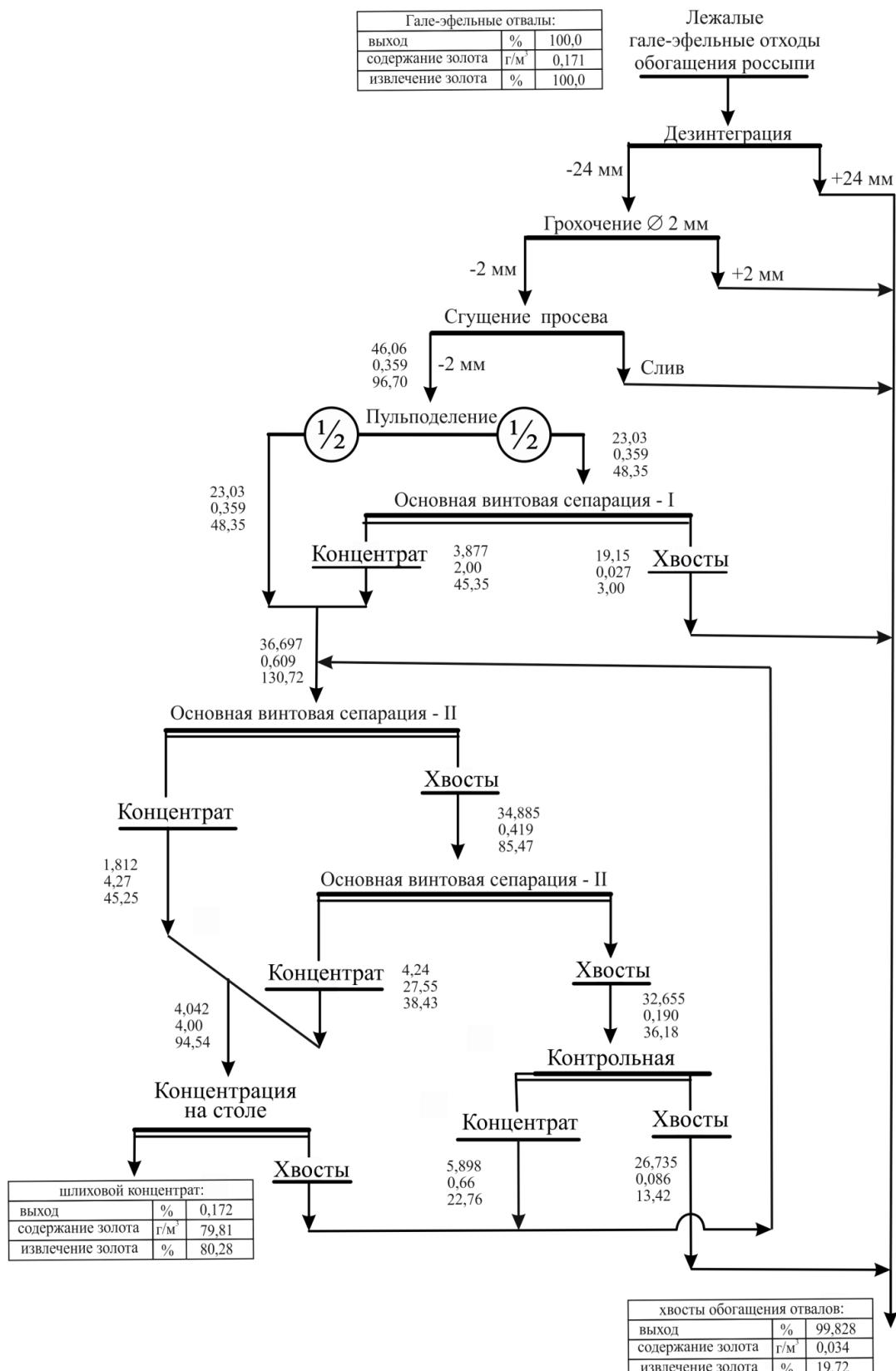


Рис. 1. Качественно-количественная схема опытно-промышленной переработки гале-эфельных отходов промывки россыпи золота

Fig. 1. An experimental and industrial processing flow sheet for boulders and dredging waste resulting from washing gold placer

Таблица 1. Результаты оценки денежных потоков при индивидуальном освоении гале-эфельных отвалов

Table 1. Cash flow evaluation in case of individual development of boulders and dredging waste

№ п/п	Наименование	Ед. изм.	Значение
1	Период оценки	лет	5
2	Годовая производительность промывки	тыс. м <sup>3</sup>	275,2
3	Содержание золота в отвалах	г/м <sup>3</sup>	0,171
4	Годовое производство золота	кг	37,78
5	Цена 1 г шлихового золота	руб.	2404,2
6	Стоимость золота	тыс. руб.	90830,7
7	Страховка-транспортировка и аффинаж	тыс. руб.	164,3
8	Чистая выручка от реализации	тыс. руб.	90666,4
9	Производственные затраты	тыс. руб.	44644,3
10	Общехозяйственные затраты	тыс. руб.	4562,9
11	Налоги (НДПИ/налог на имущество)	тыс. руб.	5449,8/26 72,7
12	Операционные затраты	тыс. руб.	57329,7
13	Удельные операционные затраты:		
	на 1 м <sup>3</sup> гале-эфельных отвалов	руб./м <sup>3</sup>	208,3
	на 1 г золота	руб./г	1517,5
14	Производственные фонды	тыс. руб.	121485,4
15	Капитальные затраты	тыс. руб.	101237,8
16	Оборотные средства	тыс. руб.	20247,6
17	ЧДД/NPV (чистый дисконтированный доход (убыток) при ставке дискаonta 20%)	тыс. руб.	-1053,8
18	PI (индекс рентабельности)	доли ед.	0,99
19	PP (срок окупаемости для дисконтированного денежного потока)	лет	не окупается

Из результатов экономического анализа освоения техногенных ресурсов следует вывод о том, что небольшое содержание золота в сырье (и, как следствие, небольшое количество производимой продукции – золота) не позволяет окупить вложенные средства в приемлемые для инвестора сроки.

Экономический результат будет иным, если объединить производственно-экономические активы малого горного предприятия, осуществляющего добычу золота из россыпей (прежде всего техногенных с небольшими запасами (ресурсами) золота), и горного (базового) предприятия, перерабатывающего руды золотосодержащего месторождения.

Корпоративное объединение (слияние и поглощение) золотодобывающих предприятий в единую иерархическую структуру (например,

холдинг) позволяет увеличить годовую мощность по производству золота. При этом покупается доля предприятия, а не его реальные активы. Интеграция в единую горизонтально-интегрированную компанию позволяет добывать золото с меньшими производственными и общехозяйственными издержками: удельные операционные затраты (на 1 г золота и на 1 т руды) снижаются на 20% при каждом удваивании производственной мощности предприятия. Эффект масштаба дополняется эффектами синергизма (от интеграции объектов науки, производства и инфраструктуры) и сокращения трансакционных издержек [21–24].

При объединении нескольких участков возможна их параллельная (одновременная) отработка меньшей численностью работающих, т.е. уменьшаются постоянные затраты в производственной себестоимости, но увеличиваются эксплуатационные транспортные затраты. Последние не являются критичными для проектов по освоению месторождений [25]. Возможность применения высокопроизводительного оборудования является основной причиной снижения себестоимости добычи золота при последовательном вовлечении в хозяйственный оборот участков с техногенными отходами, но увеличивается время отработки всех объектов в группе.

В лабораторных условиях исследована обогатимость золотосодержащих руд месторождения Павлик совместно со шлихом, выделенным из гале-эфельных отвалов. Руды месторождения Павлик перерабатываются на ЗИФ ИК «Арлан» по гравитационно-флотационной технологии.

Из пробы руды с применением гравитационных методов обогащения (винтовой сепаратор+концентрационный стол) в две стадии (на материале крупностью <0,5 и <0,16 мм) в гравиоконцентрат, содержащий 101,22 г/т Au, выделено 63,41% Au при выходе гравиоконцентрата 1,754%. В том числе в «золотую головку» (38547 г/т Au) извлечено 41,3% Au при выходе продукта 0,003%. Установлено, что каждые 10 % золота, выделенные в цикле измельчение-классификация, приводят к снижению содержания золота в хвостах на 0,1 г/т (снижают общие потери золота с хвостами на 1%). Это оправдывает введение операции гравитации, несмотря на связанные с ней технологические (увеличение обводненности процесса) и экономические (повышение операционной себестоимости) издержки.

Хвосты гравитации (крупностью 80% класса – 71 мкм) смешивали со шлихами, выделенными из гале-эфельных отвалов, и подвергали флотации (с контрольной флотацией хвостов), концен-

трат которой дважды перечищали. В операции основной флотации использовали струйное противоточное движение чернового концентрата и исходного питания. Во II струе флотации в течение первых 3 минут без подачи флотореагентов (с использованием флотореагентов, связанных с твердой и жидкой фазами чернового концентрата I струи флотации) выделяли быстро флотируемую часть концентрата, и только затем вводили новые порции флотореагентов. Причем быстро флотируемую фракцию чернового концентрата выделяли с использованием в качестве газовой фазы смеси воздуха с горячим насыщенным водяным паром. Промпродукты (хвосты I перечистки и пенный продукт контрольной операции флотации) перед заворотом в операцию I перечистки перефлотировали.

После активации сульфидов медным купоросом (двумя загрузками по 50 г/т) золото извлекали в содовой среде (~500 г/т) при рН 8,5–8,7 бутиловым ксантогенатом калия (из расчета 150 г/т в основную и 100 г/т в контрольную операции флотации) при создании пены с помощью T-92 (в два приема по 80 и 40 г/т). В операцию I перечистки подавали бутиловый ксантогенат калия (из расчета 2 г/т); промпродуктовую флотацию вели без подачи флотореагентов. Для подавления эффекта preg-robbing в операцию основной флотации подавали крахмал (500 г/т); с этой же целью в дальнейшем сорбционное цианирование флотоконцентрата осуществляли в присутствии керосина (700 г/т). Флотацию вели до прекращения какой-либо минерализации пены сульфидами и начала механического выноса минералов пустой породы. Общее время флотации составляло 25 минут, из которых 10 минут отводили на основную операцию флотации и остальное – на контрольную; промпродукты перечищали в течение 9 минут. Время доводки чернового концентрата составляло 7 минут.

В опытах, моделирующих замкнутый цикл флотации, извлечение золота в концентрат, содержащий 63,62 г/т Au, извлечено 92,63% металла (с учетом золота, выделенного в гравиоконцентрат). Содержание Au стабилизировалось в хвостах операции контрольной флотации навески обогащаемого материала. Содержание Au в продуктах обогащения определяли пробирным методом с атомно-абсорбционным окончанием анализа на базе спектрометра AA-7000 Shimadzu, в некоторых случаях – с ICP-окончанием. Качественно-количественная схема

обогащения шихты, составленной из продукта обогащения отходов россыпной золотодобычи (тяжелого шлиха) и руд коренного месторождения золота, приведена на **рис. 2**.

Предусматривается металургическая дробьботка гравио- и флотоконцентратов до слитков лигатурного золота аффинажной готовности (ТУ 117-2-7-75).

«Золотую головку» (с крупным золотом) перерабатывают на сплав методом пиromеталлургии [26]. Сульфиды и сульфоарсениды железа (в виде пирита и арсенопирита) разлагают окислительным обжигом, огарок от которого плавят (без коллектора с флюсами) на золотосеребряный сплав (металл Доре) и шлак железонатриевый.

Гравитационный концентрат подвергают интенсивному выщелачиванию крепким цианистым раствором, обеспечивающему за приемлемое время высокое извлечение золота из упорного сырья. В промышленных условиях это может быть Gekko (или ConSepAcacia)-процесс переработки гравиоконцентратов в ILR-реакторе [27].

Из флотоконцентрата золото извлекают сорбционным цианированием (с использование RIP- или CIP-технологии).

Общие потери золота при металургической обработке гравио- и флотоконцентратов составляют 11,37%, но экономическая целесообразность получения товарной продукции в виде лигатурного золота очевидна. Представительность пробы, отбираемой при опробовании компактного слитка и направляемой на химический анализ, существенно увеличивается (по сравнению с опробованием большого объема и массы шлихового золота). При таком завершении технологического процесса точность определения количества золота, сдаваемого на аффинаж, высокая, а отрицательная аффинажная разница при окончательном расчете между аффинажным заводом и поставщиком – минимальная. На 5–7% сокращаются затраты, связанные со страховкой и транспортировкой драгметалла.

На аффинажном заводе цена переработки концентрата, содержащего 1–2% Au, равна 4,4% от стоимости химически чистого золота в нем при извлечении 85% Au. При той же цене за аффинаж 2–10%-го концентрата извлечение золота из него составляет уже 95%. Следовательно, при сдаче на аффинаж бедных концентраторов поставщик теряет до 20% химически чистого золота.

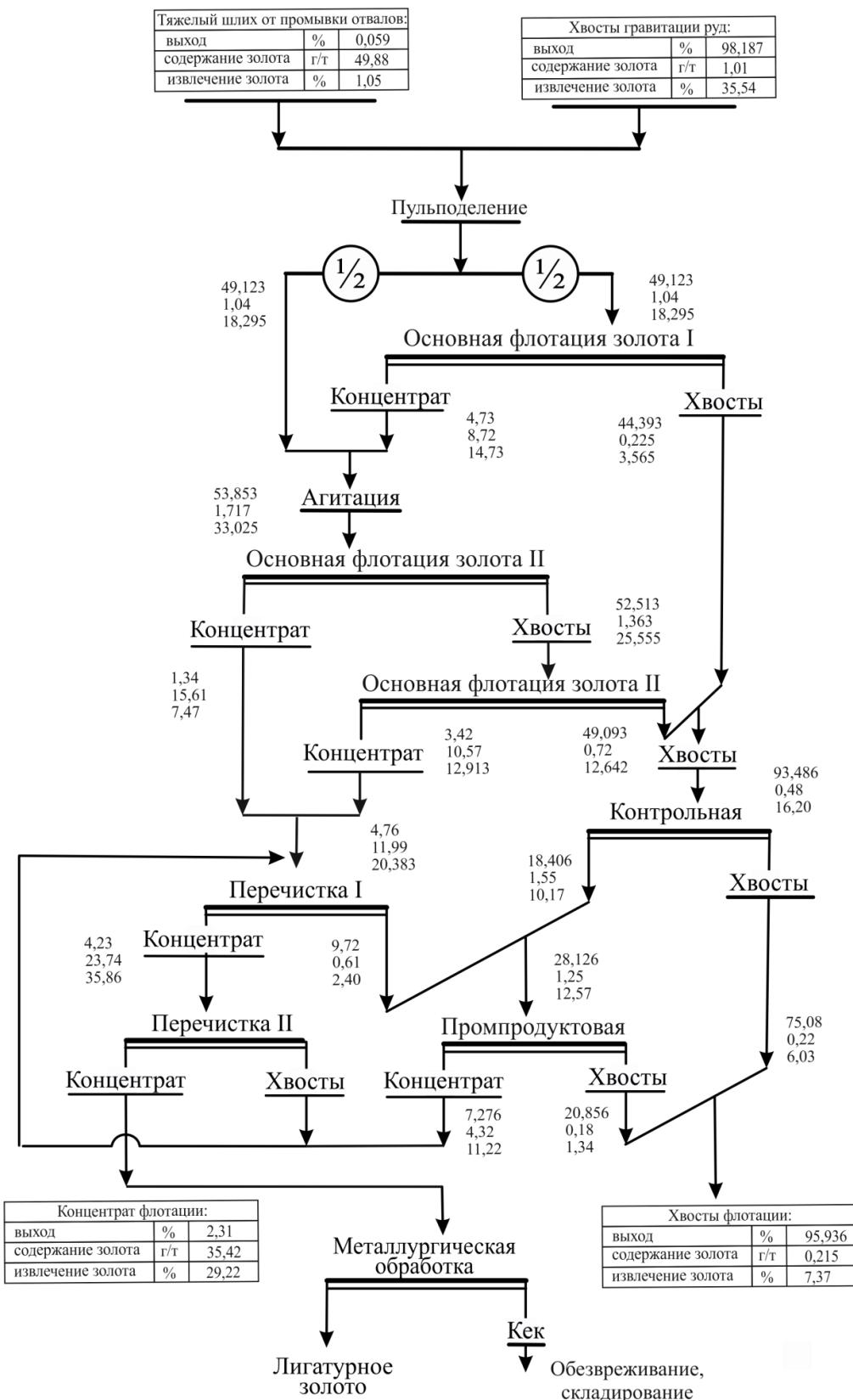


Рис. 2. Качественно-количественная схема совместного обогащения руд и россыпей золота, составленная по результатам опыта, моделирующего замкнутый цикл флотации

Fig. 2. A joint processing flow sheet for ores and placers of gold prepared by the experience simulating a closed flotation circuit

С использованием результатов лабораторных исследований по извлечению рудного и россыпного золота из искусственно составленной шихты подготовлены исходные данные для моделирования денежных потоков при реализации проекта по совместной переработке руд и россыпей золота в условиях промышленного производства (табл. 2).

Таблица 2. Результаты балансового опыта по совместной переработке руд и россыпей золота  
Table 2. Balance sheet for the joint processing of ores and placers of gold

№ п/п	Наименование показателя	Значение показателя
1	Массовая доля золота в шихте из руд и шлихов, г/т	2,80
2	Выход концентратов, %, в том числе:	4,064
	- «золотая головка»	0,003
	- гравитационный концентрат	1,754
	- флотационный концентрат	2,31
3	Массовая доля золота в продуктах обогащения, г/т:	
	- «золотая головка»	38547
	- гравитационный концентрат	35,36
	- флотационный концентрат	35,42
4	Извлечение золота в продукты обогащения, %, в том числе:	92,63
	- «золотая головка»	41,30
	- гравитационный концентрат	22,11
	- флотационный концентрат	29,22
5	Потери золота, %, в том числе:	19,06
	- обогащение песков россыпи, %:	0,32
	- обогащение шихты из руд и шлихов	7,37
	- металлургическая обработка концентратов, %	11,37
6	Зачетное извлечение в сплав лигатурного золота, %	81,26

При смешении руд ( $\alpha = 2,77$  г/т Au) и тяжелого шлиха ( $\alpha = 49,88$  г/т Au), выделенного из отходов россыпной золотодобычи, содержание золота в шихте составило  $\alpha = 2,80$  г/т.

Средневзвешенное содержание золота  $\alpha_{\Sigma}$ , г/т, в суммарных запасах группы месторождений  $M_{\Sigma}$  рассчитывают с учетом содержания золота  $\alpha_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) и количества запасов в отдельных месторождениях группе  $M_i$ , т:

$$\alpha_{\Sigma} = \frac{M_1 \alpha_1 + M_2 \alpha_2 + \dots + M_n \alpha_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n}. \quad (1)$$

Для повышения эффективности извлечения ценного компонента смешиваемые материалы должны быть тождественны не столько по со-

держанию извлекаемого компонента, сколько по их способности к разделению по тому или иному физическому свойству. Разная обогатимость смешиваемых материалов при одинаковом содержании в них ценного компонента приводит к «разубоживанию» материала с высокой способностью к разделению материалом менее контрастным по физическому свойству, по которому ведут разделение.

Объект с запасами (ресурсами)  $M$  и содержанием ценного компонента  $\alpha$  следует включать в группу для совместного освоения, если после объединения запасов выполняется соотношение.

$$\frac{M_{\Sigma} \alpha_{\Sigma}}{M \alpha} \geq \frac{Y_{\Sigma}}{Y}, \quad (2)$$

где  $Y$  – критерий, характеризующий эффективность освоения запасов базового месторождения.

$$Y = \left[ \frac{Q (C_1 + C_2 + C_3)}{\gamma} + C_{T1} + \right] \varepsilon_M \beta + C_{T2} + \Sigma C + C_M \beta, \quad (3)$$

где  $M$  – наиболее качественные запасы (базовые) месторождения с содержанием извлекаемого металла  $\alpha$ ;  $Q$  – переработка руд;  $C_1, C_2, C_3$  – соответственно себестоимость добычи, усреднения и обогащения 1 т руды;  $\gamma$  – выход концентратов;  $C_{T1}, C_{T2}$  – стоимость транспортировки 1 т руды до ЗИФ и 1 т концентратов до транспортного узла;  $C_M(\beta)$  – себестоимость металлургической переработки 1 т концентратов в зависимости от содержания  $\beta$  в нем ценного компонента;  $\Sigma C$  – прочие затраты в расчете на 1 т руды;  $\varepsilon_M(\beta)$  – извлечение ценного компонента в металлургическом переделе в зависимости от качества концентратов. При моделировании денежных потоков в качестве базового принятая обогатимость руд месторождения Павлик.

Рентабельность  $R$  определяется содержанием ценного компонента в перерабатываемом сырье  $\alpha_{\Sigma}$ , эксплуатационными транспортными расходами  $S$  и извлечением ценного компонента в товарный продукт  $\varepsilon_{\Sigma}$ :

$$R \alpha_{\Sigma}, S, \varepsilon_{\Sigma} = f \left[ \Pi \cdot \alpha_{\Sigma} \cdot \varepsilon_{\Sigma} \cdot 3 + S^{-1} \right], \quad (4)$$

$$\varepsilon_{\Sigma} \alpha_{\Sigma}, R, S = f \left[ R \cdot \Pi \cdot \alpha_{\Sigma}^{-1} \cdot 3 + S \right], \quad (5)$$

$$\alpha_{\Sigma} \varepsilon_{\Sigma}, R, S = f \left[ R \cdot \Pi \cdot \varepsilon_{\Sigma}^{-1} \cdot 3 + S \right], \quad (6)$$

где 3 – затраты на добычу и обогащение сырья при его цене  $\Pi$ .

С использованием взаимосвязанных соотношений (4)-(6) для каждого объекта рассчитывают максимальную дальность перевозки сырья по направлению к базовому объекту, которая ограничивается приемлемыми для недропользователя транспортными затратами (принятой рентабельностью). На пересечении транспортных путей (в «центре тяжести» группы) размещают обогатительную фабрику [28, 29].

Результаты оценки экономической эффективности освоения малообъемных (в том числе техногенных) месторождений россыпного золота при их совместной переработке с рудами коренного месторождения по величине дисконтированных денежных потоков NPV и внутренней нормы доходности IRR [30] приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты моделирования денежных потоков при совместном освоении руд и россыпей золота

Table 3. Simulation of cash flows resulting from the joint development of ores and placers of gold

№ п/п	Наименование	Ед.изм.	Значение
1	Период оценки	год	2019-2023
2	Суммарный объем переработки	тыс. т	15004
3	Суммарное производство золота	кг	33952
4	Чистая выручка от реализации	млн руб.	98199
5	Операционные затраты, в том числе:	млн руб.	46646
	- горные работы	млн руб.	17464
	- промывка эфелей и обогащение шлихов и руд	млн руб.	18281
	- общехозяйственные затраты	млн руб.	3713
6	ЧДД/NPV (чистый дисконтированный доход при ставке дисконта 20 %)	млн руб.	8549
7	PI (индекс рентабельности дисконтированных инвестиций (доход на вложенный капитал))	доли ед.	1,85
8	DPP (дисконтированный срок возврата инвестиций)	лет	2,1
9	Налоги (НДПИ/налог на имущество)	млн руб.	5900/1288
10	Оборотный капитал	млн руб.	81
11	EBIT/EBITDA	млн руб.	76240/98199
12	Рентабельность EBITDA	%	79,4
13	IRR (внутренняя норма доходности)	%	54,85

Из результатов выполненной технико-экономической оценки (см. табл. 3) следует вывод о целесообразности объединения запасов

россыпей и руд с целью совместного освоения. При переходе от индивидуального освоения отходов россыпной золотодобычи к их переработке на стационарной фабрике в составе шихты с обогащаемой на ней руды общий экономический эффект становится существенно положительным. Суммарные запасы золота группы обеспечивают окупаемость инвестиций в приемлемые для инвестора сроки, внутренняя норма доходности от капиталовложений превышает уровень доходности от покупки ценных бумаг, размещения средств на депозите в банке.

### Заключение

Из результатов опытно-промышленной практики извлечения золота из отходов промывки песков россыпи прошлых лет следует, что возможно высокое извлечение золота. По результатам промывочного сезона составлена калькуляция затрат, связанных с добычей золота из техногенных отходов малым горным предприятием. Даже с применением современной техники (с высокой удельной производительностью) и технологии извлечения золота (схем обогащения, движение разделяемых потоков в которых приводит к формированию материала с высоким уровнем обогатимости – способностью к разделению) и рациональной организацией труда чистый дисконтированный доход оказывается отрицательным. Затраты инвестора не окупаются за счет небольшой извлекаемой ценности отходов (стоимости золота, добываемого в сезон).

Удельные капитальные вложения и эксплуатационные затраты могут быть снижены за счет увеличения производственной мощности предприятия. Например, путем совместной переработки золотосодержащих руд и техногенных отходов россыпной золотодобычи, рассматривая их минерально-сырьевые базы как запасы единого месторождения, отрабатываемые предприятиями холдинга.

В лабораторных условиях подтверждена высокая технологическая эффективность извлечения золота флотацией из искусственной шихты, составленной из тяжелого шлиха, выделенного из гале-эфельных отвалов гравитационными методами обогащения, и руд коренного месторождения золота. Результаты лабораторных исследований использованы при моделировании денежных потоков при совместной переработке этих георесурсов. Критериями оценки технологии выбраны чистый денежный доход и внутренняя норма доходности. Значения экономических критериев позволяют рассматривать совместную переработку руд и россыпей золота с применением разработанных технологических решений как экономически эффективный инновационный проект.

### Список литературы

1. Значение комплексного потенциала техногенных россыпных месторождений регионов Дальнего Востока России и новый стратегический подход к их освоению / Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Васянович Ю.А., Краденых И.А. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. №30. С.78–86.
2. Ресурсный потенциал техногенных золотороссыпных месторождений и стратегия их масштабного освоения / Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Краденых И.А., Усиков В.И. // Маркшердерия и недропользование. 2017. №5. С.21–29.
3. Чантuria В.А. Перспективы устойчивого развития горноперерабатывающей индустрии России // Горный журнал. 2007. №2. С. 2–9.
4. Михайлов Б.К., Беневольский Б.И., Вартанян С.С. Минеральные ресурсы России // Экономика и управление. 2006. №3. С. 40–45.
5. Ван-Ван-Е А.П. Ресурсная база природно-техногенных золотороссыпных месторождений. М.: Горная книга, 2010. 268 с.
6. Мамаев Ю.А., Литвинцев В.С., Пономарчук Г.П. Техногенные россыпи благородных металлов Дальневосточного региона России и их рациональное освоение. М.: Горная книга, 2010. 309 с.
7. Макаров В.А. Золото техногенных минеральных объектов – ресурсы и проблемы геолого-технологической оценки // Золото и технологии. 2011. №3(13). С.25–28.
8. Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Дмитрак Ю.В. Ликвидация накопленного экологического ущерба // Устойчивое развитие горных территорий. 2019. Т. 11. №2. С. 238–248.
9. Евдокимов С.И., Дмитрак Ю.В., Герасименко Т.Е. Утилизация лежалого клинкера ОАО «Электроцинк» // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. №2(44). С. 291–301.
10. Организационный механизм и технология освоения отходов россыпной золотодобычи / Евдокимов С.И., Герасименко Т.Е., Дмитрак Ю.В., Байматов К.К. // Устойчивое развитие горных территорий. 2020. Т.12. №1(43). С. 116–128.
11. Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С., Алексеев В.С. Перспективы масштабного освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №6. С. 22–30.
12. Литвинцев В.С. Основные направления стратегии освоения техногенных рудных и россыпных месторождений благородных металлов // Горный журнал. 2013. №10. С. 38–41.
13. Краденых И.А., Литвинцев В.С. Роль менеджмента в экономической деятельности золотодобывающих предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2018. №10. С. 200–206.
14. Мирзеханов Г.С., Литвинцев В.С. Состояние и проблемы освоения техногенных россыпных месторождений благородных металлов в Дальневосточном регионе // Горный журнал. 2018. №10. С. 25–30.
15. Литвинцев В.С. О ресурсном потенциале техногенных золотороссыпных месторождений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. №1. С. 118–126.
16. Повышение экономической эффективности горнодобывающих предприятий за счет вовлечения в эксплуатацию техногенных георесурсов / Гавришев С.Е., Корнилов С.Н., Пыталев И.А., Гапонова И.В. // Горный журнал. 2017. №12. С. 46–51.
17. Сергеев И.Б., Пономаренко Т.В. Формирование и оценка синергетических эффектов при интеграции горных компаний // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. №7. С. 316–323.
18. Ижевский В.Л., Кононов В.Н. Стратегические аспекты управления консолидированными процессами групп компаний // Экономический анализ: теория и практика. 2017. Т.16. Вып.6. С. 1061–1081.
19. Краденых И.А., Барчуков А.В. Формирование синергетических эффектов при горизонтальной интеграции золотодобывающих предприятий // Менеджмент в России и за рубежом. 2016. №5. С. 81–88.
20. Краденых И.А. Оценка экономической эффективности золотодобывающих предприятий с учетом влияющих факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2017. №24. С. 390–401.
21. Sampson T. Dynamic selection: an idea flows theory of entry, trade, and growth // The Quarterly Journal of Economics. 2016. Vol.131. No.1. P. 315–380.
22. Arcolakis C.A unified theory of firm selection and growth // The Quarterly Journal of Economics. 2016. Vol.131. No.1. P. 89–156.
23. Шваб К. Четвертая промышленная революция. М.: Эксмо, 2018. 288 с.
24. Романова О.А. Инновационная парадигма новой индустриализации в условиях формирования интегрально-го мирохозяйственного уклада // Экономика региона. 2017. Т.13. Вып.1. С. 276–289.
25. Самсонов Н.Ю., Ягольнице М.А. Групповая разработка малых золоторудных месторождений. Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2012. 240 с.

26. Плавка гравитационных концентратов на внутренний коллектор / Лобанов В.Г., Агеев Н.Г., Меньщиков В.А., Набиуллин Ф.М., Начаров В.Б. // Изв. вузов. Цветная металлургия. Спецвыпуск. 2015. С. 35–39.
27. Пелих В.В., Салов В.М. Исследование переработки гравитационных концентратов на модуле интенсивного цианирования «Акация» // Вестник ИрГТУ. 2013. №7(78). С. 41–47.
28. Исследование возможности отработки техногенных отвалов россыпной золотодобычи методами «рудной» технологии / Александрова Т.Н., Александров А.В., Литвинова Н.М., Богомяков Р.В. // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2013. № 3. С. 65–70.
29. Литвинцев В.С., Алексеев В.С., Алексеева Е.В. Программный комплекс оптимального расположения обогатительной фабрики при отработке сближенных россыпных месторождений полезных ископаемых // Маркшейдерия и недропользование. 2019. №4. С. 47–51.
30. Зайцев А.Ю. Оценка стоимости золоторудных месторождений // Записки Горного института. 2018. Т. 233. С. 547–553.

### References

1. Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Vasyanovich Yu.A., Kradenykh I.A. The value of the integrated potential of technogenic alluvial deposits in the regions of the Russian Far East and a new strategic approach to their development. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2019, no. 30, pp. 78–86. (In Russ.)
2. Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Kradenykh I.A., Usikov V.I. Resource potential of technology-related gold placer deposits and the strategy of their large-scale development. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Resources Management], 2017, no. 5, pp. 21–29. (In Russ.)
3. Chanturiya V.A. Prospects for sustainable development of the mining and processing industry in Russia. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2007, no. 2, pp. 2–9. (In Russ.)
4. Mikhailov B.K., Benevol'skiy B.I., Vartanyan S.S. Mineral resources of Russia. *Ekonomika i upravlenie* [Economics and Management], 2006, no.3, pp. 40–45. (In Russ.)
5. Van-Van-E A.P. *Resursnaya baza prirodno-tehnogennykh zolotorossyppnykh mestorozhdeniy* [Resource base of natural and technology-related gold placer deposits]. Moscow: Mining Books, 2010, 268 p. (In Russ.)
6. Mamaev Yu.A., Litvintsev V.S., Ponomarchuk G.P. *Tekhnogennye rossypi blagorodnykh metallov Dalnevostochnogo regiona Rossii i ikh ratsionalnoe osvoenie* [Technogenic placers of noble metals in the Far East region of Russia and their rational development]. Moscow: Mining Books, 2010, 309 p. (In Russ.)
7. Makarov V.A. Gold of technology-related mineral facilities: resources and difficulties of the geological and technological assessment. *Zoloto i tekhnologii* [Gold and Technologies], 2011, no. 3(13), pp. 25–28. (In Russ.)
8. Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Dmitrak Yu.V. Elimination of accumulated environmental damage. *Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable Development of Mountain Territories], 2019, vol.11, no. 2, pp. 238–248. (In Russ.)
9. Evdokimov S.I., Dmitrak Yu.V., Gerasimenko T.E. Utilization of aged clinker of OJSC Electrozinc. *Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable Development of Mountain Territories], 2020, vol.12, no. 2(44), pp. 291–301. (In Russ.)
10. Evdokimov S.I., Gerasimenko T.E., Dmitrak Yu.V., Baimatov K.K. The organizational mechanism and technology for the development of alluvial gold mining waste. *Ustoychivoe razvitiye gornykh territoriy* [Sustainable Development of Mountain Territories], 2020, vol.12, no. 1(43), pp. 116–128. (In Russ.)
11. Mirzehhanov G.S., Litvintsev V.S., Alekseev V.S. Prospects for large-scale development of technology-related alluvial deposits of noble metals. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Resources Management], 2019, no. 6, pp. 22–30. (In Russ.)
12. Litvintsev V.S. The main directions of the strategy for the development of technology-related ore and placer deposits of noble metals. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2013, no. 10, pp. 38–41. (In Russ.)
13. Kradenykh I.A., Litvintsev V.S. The role of management in the economic activity of gold mining enterprises. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2018, no. 1, pp. 200–206. (In Russ.)
14. Mirzehhanov G.S., Litvintsev V.S. State and difficulties of development of technology-related placer deposits of noble metals in the Far East region. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2018, no. 10, pp. 25–30. (In Russ.)
15. Litvintsev V.S. Resource potential of placers spoil dumps. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh* [Journal of Mining Sciences], 2013, no.1, pp. 118–126. (In Russ.)
16. Gavrishev S.E., Kornilov S.N., Pytalev I.A., Gaponova I.V. Increasing the economic efficiency of mining enterprises by involving technology-related georesources in operation. *Gorniy zhurnal* [Mining Journal], 2017, no. 12, pp. 46–51. (In Russ.)
17. Sergeev I.B., Ponomarenko T.V. Formation and assessment of synergistic effects in the integration of mining companies. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 7, pp. 316–323. (In Russ.)
18. Izhevskiy V.L., Kononov V.N. Strategic aspects of managing the consolidated processes of groups of companies. *Ekonomicheskiy analiz: teoriya i praktika* [Economic Analysis: Theory and Practice], 2017, vol. 16, no. 6, pp. 1061–1081. (In Russ.)
19. Kradenykh I.A., Barchukov A.V. Formation of synergistic effects in the horizontal integration of gold mining enterprises. *Menedzhment v Rossii i za rubezhom* [Management in Russia and Abroad], 2016, no. 5, pp. 81–88. (In Russ.)

20. Kradenykh I.A. Assessment of the economic efficiency of gold mining enterprises taking into account the influencing factors. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2017, no. 24, pp. 390–401. (In Russ.)
21. Sampson T. Dynamic selection: an idea flows theory of entry, trade, and growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 2016, vol. 131, no. 1, pp. 315–380.
22. Arcolakis C. A unified theory of firm selection and growth. *The Quarterly Journal of Economics*. 2016, vol. 131, no. 1, pp. 89–156.
23. Schwab K. *Chetvertaya promyshlennaya revolyutsiya* [The Fourth Industrial Revolution]. Moscow: Eksmo, 2018, 288 p. (In Russ.)
24. Romanova O.A. The innovation paradigm of new industrialization in the context of the formation of an integral world economic order. *Ekonomika regiona* [Economy of Region], 2017, vol. 13, no. 1, pp. 276–289. (In Russ.)
25. Samsonov N.Yu., Yagolnitser M.A. *Gruppovaya razrabotka malykh zolotorudnykh mestorozhdeniy* [Group development of small gold ore deposits]. Novosibirsk: IEIE SB RAN, 2012, 240 p. (In Russ.)
26. Lobanov V.G., Ageev N.G., Menshchikov V.A., Nabiullin F.M., Nacharov V.B. Smelting of gravitational concentrates on the internal collector. *Izv. Vuzov. Tsvetnaya metallurgiya. Spetsvypusk*. [Universities' Proceedings. Non-ferrous Metallurgy. Special issue], 2015, pp. 35–39. (In Russ.)
27. Pelikh V.V., Salov V.M. Study on the processing of gravity concentrates on the Acacia intensive cyanidation module. *Vestnik IrGTU* [Proceedings of Irkutsk State Technical University], 2013, no. 7(78), pp. 41–47. (In Russ.)
28. Aleksandrova T.N., Aleksandrov A.V., Litvinova N.M., Bogomyakov R.V. Study on the development of technology-related waste dump of alluvial gold mining using the methods of “ore” technology. *Gorny informatsionno-analiticheskiy byulleten (nauchno-tehnicheskiy zhurnal)* [Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)], 2013, no. 3, pp. 65–70. (In Russ.)
29. Litvintsev V.S., Alekseev V.S., Alekseeva E.V. Software complex for the optimal location of the concentration plant during the development of adjacent placer deposits of minerals. *Marksheideriya i nedropolzovanie* [Mine Surveying and Subsoil Resources Management], 2019, no. 4, pp. 47–51. (In Russ.)
30. Zaitsev A.Yu. Estimated value of gold deposits. *Zapiski Gornogo instituta* [Journal of the Mining Institute], 2018, vol. 233, pp. 547–553. (In Russ.)

Поступила 07.10.2020; принята к публикации 12.11.2020; опубликована 25.12.2020  
Submitted 07/10/2020; revised 12/11/2020; published 25/12/2020

**Троценко Игорь Герасимович** – кандидат технических наук, доцент,  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Владикавказ, Россия. Email: itrocenko@mail.ru

**Герасименко Татьяна Евгеньевна** – кандидат технических наук,  
начальник отдела интеллектуальной собственности  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Владикавказ, Россия. Email: gerasimenko\_74@mail.ru

**Евдокимов Сергей Иванович** – кандидат технических наук, доцент,  
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),  
Владикавказ, Россия. Email: eva-ser@mail.ru

**Igor G. Trotsenko** – PhD (Eng.), Associate Professor  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technical University), Vladikavkaz, Russia.  
Email: itrocenko@mail.ru

**Tatiana E. Gerasimenko** – PhD (Eng.), Head of the Intellectual Property Office  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technical University), Vladikavkaz, Russia.  
Email: gerasimenko\_74@mail.ru

**Sergey I. Evdokimov** – PhD (Eng.), Associate Professor  
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technical University), Vladikavkaz, Russia.  
Email: eva-ser@mail.ru