

	новаций рудоподготовки	development of innovative ore dressing
Аннотация	<p>Применение химико-металлургических технологий повышает извлечения металлов на 10 ÷ 15 % и сопровождается увеличением эксплуатационных затрат, для оценки величины которых требуется экономическое моделирование конкретной ситуации.</p> <p>Применение новаций рудоподготовки обеспечивает снижение потерь полезного компонента, эксплуатационных затрат и увеличение прибыли с 2-3 до 10-15 раз, обеспечивая переход горно-металлургической компании в режим расширенного воспроизводства за счет реинвестирования получаемой прибыли.</p>	<p>The use of chemical-metallurgical technologies increases the extraction of metals by 10 ÷ 15 %, and is accompanied by an increase in operating costs, to estimate which requires economic modeling of the specific situation.</p> <p>Applying innovations ore preparation reduces operating costs and increased profits from 2-3 to 10-15 times, providing the transition metals and mining company mode expanded reproduction due to reinvestment of profits.</p>
Ключевые слова	Экономика, рентабельность, проектирование, инвестиции, предварительное обогащение, инновации	Design, investment, pre-enrichment, innovation

**Повышение рентабельности отработки
месторождений руд цветных металлов и золота
на основе инвестиционного проектирования**

Ухудшение в настоящее время горно-геологических условий приводит к снижению эффективности ГМК, а зачастую и к невозможности эффективной отработки месторождений руд цветных металлов и золота. И как результат, к ослаблению инвестиционной активности в горнорудной промышленности в целом.

Целесообразность инвестирования средств в отработку конкретного месторождения определяется рядом условий, в том числе размером ожидаемой прибыли от добычи и переработки руды, которую на стадии концептуального проектирования можно оценить выражением [1, 2]

$$\Pi = Q \cdot C_{ap} (1 - R_{гэ}) (1 - R_{гт}) J_a (1 - P) (Ц - З) (1 - W), \quad (1)$$

где Q - объем добычи горной массы в единицу времени, C_{ap} - среднее содержание полезного компонента А в оконтуренных запасах Q_{ок}; R_{гэ} и R_{гт} - соответственно геолого-экономическое разубоживание запасов сырья в нетронутым массиве, обусловленное природными процессами образования месторождения, и горно-технологическое разубоживание отбитой горной массы вмещающими породами, возникающее в процессе добычи; J_a - сквозное

извлечение компонента А при переработке руды; Р – его потери при выемке и переработке; З и Ц – совокупные затраты на извлечение и цена реализации единицы товарной продукции; W – интегральный показатель, учитывающий вероятность нахождения системы в неисправном состоянии, в том числе из-за аварийных ситуаций на горно-металлургическом предприятии по всем важнейшим причинам.

Соотношение (1) упрощается заменой составляющих $(1 - R_{гэ}) (1 - R_{гт})$ на $(1 - R)$, где $R = R_{гэ} + R_{гт}$:

$$(1 - R_{гэ}) (1 - R_{гт}) = 1 - (R_{гэ} + R_{гт}) + R_{гэ}R_{гт} \quad . \quad (2)$$

Учитывая, что для месторождений руд цветных металлов и золота величина $R_{гт}$ не превышает обычно $0,10 \div 0,20$, а $R_{гэ}$ – значений $0,50 \div 0,90$ [3-6], можно без большой погрешности считать $(R_{гэ} + R_{гт}) > R_{гэ}R_{гт}$ и пренебречь последним членом в уравнении (2) как малой величиной второго порядка. Тогда

$$(1 - R_{гэ}) (1 - R_{гт}) = 1 - R. \quad (3)$$

а выражение (1) преобразуется к виду

$$\Pi = Q C_a (1 - R) J_a (1 - P) (Ц - З) (1 - W) \quad . \quad (4)$$

Исследование уравнения (1) авторами работ [1-2] показало, что ожидаемая прибыль (Π) от добычи и переработки руды наиболее сильно зависит от изменений внешнего фактора – цены (Ц) реализации на товарный продукт. В меньшей степени величина её зависит от вариаций внутренних факторов, возрастая с увеличением объёма добычи (Q) горной массы и извлечения компонента А при переработке руды, со снижением разубоживания (R), потерь (P) при выемке и переработке, затрат (З) на извлечение и интегрального показателя (W), учитывающего вероятность нахождения системы в неисправном состоянии, в том числе из-за аварийных ситуаций на горно-металлургическом предприятии по всем важнейшим причинам.

Недропользователь не имеет возможностей управлять величиной Ц, устанавливаемой соотношением спроса и предложения на биржах, формируемых крупными игрокам сырьевых рынков, но может варьировать ценой своего товарного продукта, скидками, бонусами и т.д., если позволяет рентабельность производства ($P_{п}$), хозяйственное положение и финансовое состояние предприятия, связанных в конечном счете с эффективностью управления бизнесом, применением технических и технологических новаций, обеспечивающих повышение Q и J_a , снижение P, З и W. Величина R обусловлена главным образом природными условиями образования и залегания руд в недрах, в существенно меньшей степени - технологией их выемки – подземным либо открытым способом. В связи с чем, управление фактором разубоживания подразумевает установление её природы и величины при разведке месторождения, принятие организационно-

технологических мер к выделению в отвал породы и забалансовой руды из потока горной массы, направляемой на глубокое обогащение. Это отмечают и авторы работ [3-9], усматривая резерв роста Π в снижении величины R , за счет применения технологии предварительного обогащения.

В зарубежной практике недропользования в качестве критерия прибыльности проекта освоения месторождения используют коэффициент эффективности $K_{эф} = Z/C$, величина которого варьируется в пределах $0,2 \div 0,6$ у транснациональных корпораций, имеющих доступ к наиболее богатым месторождениям, расположенных в разных регионах мира, благоприятных по геолого-экономическим показателям залегания, затрат на энергетику, транспорт и инфраструктуру. В СССР $K_{эф}$ не опускался ниже $0,6 \div 0,7$, в настоящее время приближается к единице.

Величина $K_{эф}$ взаимосвязана с другим распространенным показателем, а именно рентабельностью ($P_{п} = \Pi/Z$) отработки месторождения. Действительно, если $C = Z + \Pi$, то

$$K_{эф} = Z/C = Z / (Z + \Pi) \quad (5)$$

или

$$K_{эф} = 1 / (1 + P_{п}), \quad (6)$$

преобразуя, которое, получим выражение для оценки рентабельности

$$P_{п} = 1 / K_{эф} - 1, \quad (7)$$

из которого видно, что зарубежные корпорации осваивают месторождения с проектной рентабельностью не менее $60 \div 70$ %, что обеспечивает им работу в режиме REIP – цепочки (profit – exploration – investment – profit), поддерживая его: перспективным планированием производства; восполнением запасов с благоприятными геолого-экономическими показателями; применением современных добычных, обогатительных и металлургических технологий, варьируя текущими объемами производства и издержками на месторождениях, расположенных в разных частях мира в зависимости от колебаний цен на металлы на биржах, пользуясь заемным капиталом под $2 \div 5$ % годовых[10].

Отечественные недропользователи в силу ряда причин берутся за отработку запасов минерального сырья с расчетной рентабельностью менее $30 \div 40$ %, нередко с привлечением кредитных ресурсов под высокие проценты. В результате чего, с учетом налоговой нагрузки, фактически работают на бюджет государства как собственника недр, в интересах финансовых организаций, предоставивших заемный капитал, не извлекая при этом достаточных средств для дальнейшего развития бизнеса за счет собственных средств.

Таким образом, исторически доставшаяся России территория с не самыми благоприятными климатическими условиями, со слабо развитой инфраструктурой в местах нахождения месторождений, с разнообразными, но относительно бедными рудами,

поставила крупных отечественных недропользователей в изначально невыгодную позицию в части политической, геологической, технологической и экономической конкурентоспособности с ведущими зарубежными недропользователями. Тогда как предприятиям малого и среднего бизнеса эти же обстоятельства ограничивают либо закрывают доступ в горнорудную отрасль, к отработке даже малых месторождений руд цветных металлов и золота.

Анализ ситуации показывает, что изменить её радикально в интересах отечественных недропользователей, в рамках традиционной схемы добычи и переработки, не представляется возможным. Попытки повысить рентабельность производства наращиванием масштабов добычи и переработки с применением известных технических, технологических и организационных решений (заменой физически устаревшего оборудования на более высокопроизводительное, применением новых материалов и реагентов, оптимизацией расходов на оплату труда, налоговой нагрузки и т.д.) не ведут к существенному изменению технико-экономических показателей ГОКов, к выходу в режим работы PEIP – цепочки (profit – exploration–investment – profit). В то же время, внедрение все более сложного и производительного оборудования ведет к росту сопутствующих эксплуатационных затрат, нередко перекрывающих ожидаемый рост прибыли.

В этой связи насущной потребностью отечественной горнорудной промышленности является введение между рудником и обогатительной фабрикой (ОФ) стадии предварительного обогащения с применением новаций рудоподготовки, сортировки и сепарации. Это позволит выделить породы и забалансовой руды в отвалы и спецсклады в пределах величины разубоживания R отбитой горной массы, в сочетании с химико-металлургическими технологиями переработки концентратов и промпродуктов глубокого обогащения сложного вещественного состава.

Предварительное обогащение (ПО) обеспечивает снижение себестоимости извлечения по традиционной схеме на $20 \div 60$ % в зависимости от типа руд обрабатываемого месторождения, соответственно рост прибыли на такую же величину[7-9]. Это позволяет в свою очередь повысить технико-экономические показатели горного производства за счет массового использования валовой выемки руды, снижения потерь металлов на $3 \div 5$ % в сравнении с селективной добычей. Оценить изменение $R_{гт}$ при этом проблематично, так как ПО не меняет природу и характер контакта рудного тела с вмещающими породами. Есть основания полагать также, что применение предварительного обогащения может повысить извлечение на стадии глубокого обогащения из концентратов предварительного обогащения до $3 \div 5$ %, а в совокупности с химико-металлургической переработкой товарных концентратов и промпродуктов обогащения сложного вещественного состава - сквозное

извлечение металлов повысится до 10 ÷ 15 % [13]. Однако, данные оценки требуют подтверждения опытом на рудах и концентратах.

Использование предварительного обогащения повысит инвестиционную привлекательность проектов отработки месторождений за счет сокращения сроков возврата вложений. Очевидно, что при мощности обогатительной фабрики ($Q_{\text{оф}}$, тонн) с предварительным обогащением из добытой руды в объеме $Q_{\text{оф}}$ будет выделяться в отвал горная масса $Q_{\text{оф}} \cdot R$, а из дополнительных объемов отбитой руды $Q_{\text{оф}} \cdot R$, направляемой на ОФ в порядке компенсации выбывающих объемов – масса $Q_{\text{оф}} \cdot R \cdot R$ и т.д. В связи с чем мощность рудника по добыче горной массы Q_p должна превышать мощность обогатительной фабрики $Q_{\text{оф}}$ в K_p раз:

$$Q_p = Q_{\text{оф}} \cdot K_p, \quad (8)$$

где значение K_p определяется степенным рядом

$$K_p = 1 + R + R^2 + R^3 + \dots + R^n = K_{\text{рм}}, \quad (9)$$

сходящимся к некоей конечной величине $K_{\text{рм}}$ при $n \rightarrow \infty$, так как $R < 1$.

На практике значение $K_{\text{рм}}$ определяется с точностью до 5 % числом членов ряда $n \leq 30$ (таблица 1).

Таблица 1

Тип руды	Значение R	Значение $K_{\text{рм}}$	Величина n для оценки $K_{\text{рм}}$ с достоверностью в 95 %
Полиметаллические руды	0,10	1,11	2
	0,20	1,25	3
	0,30	1,43	4
Редкометалльные и редкоземельные руды	0,40	1,65	5
	0,50	1,98	6
	0,60	2,46	7
Золотосодержащие руды	0,70	3,23	9
	0,80	4,78	13
	0,90	9,26	25

Как видно из Таблицы 1 внедрение предварительного обогащения позволяет на месторождениях полиметаллических руд увеличить Q_p до 1,5 раз по сравнению с мощностью $Q_{\text{оф}}$ обогатительной фабрики, тогда как для редкометалльных и редкоземельных руд – до 1,5÷2,5 раз, золота – до 3÷10 раз.

Очевидно, что затраты Z_r на выемку единицы горной массы при этом существенно не вырастут, хотя их доля в абсолютном выражении в общих затратах Z возрастет в сравнении с традиционной схемой в $K_{\text{рм}}$ раз, тогда как относительная доля затрат на переработку $\xi_{\text{п}}$ снизится до $\xi_{\text{п}} : K_{\text{рм}}$.

Увеличение объемов переработки в единицу времени сократит сроки отработки балансовых запасов месторождения и возврат инвестиций в капитальное строительство в $K_{рм}$ раз. При этом время жизни ГОКа при необходимости может быть увеличена вовлечением в переработку бедных, убогих и забалансовых руд с содержанием $C_{аб}$ компонента А

$$C_{аб} \geq C_{ар} (\text{борт}) / K_{по}, \quad (10)$$

$$K_{по} = C_{ак}/C_{ар} \approx Q / Q_{кр} = 1 / 1 - R, \quad (11)$$

где $C_{ар}$ (борт) – бортовое содержание полезного компонента для утвержденных запасов месторождения, $C_{ак}$ – содержание полезного компонента А в концентрате, а $K_{по}$ – коэффициент предварительного обогащения, составляющего для алмазосодержащих руд до $30 \div 50$, для золотосодержащих ($5 \div 10$, понижаясь до $2 \div 3$ для полиметаллических руд [3-6].

Используя выражения (10) и (11) получим для $C_{а}$

$$C_{аб} \geq C_{ар} (\text{борт}) \cdot (1 - R), \quad (12)$$

Из чего следует, например, что в отработку с применением предварительного обогащения, наряду с утвержденными запасами золотосодержащих руд с величиной $C_{ар}$ (борт) ≈ 2 г/т при $R \leq 0,70 \div 0,80$, может быть вовлечена также бедная и забалансовая руда с содержанием $C_{аб}$ от $0,40 \div 0,60$ г/т и выше.

Таким образом, дополнительная прибыль от схемы с применением предварительного обогащения возникает из-за снижения себестоимости извлечения – $\Pi_{сс}$, а также в связи с увеличением объемов переработки горной массы – $\Pi_{гм}$, и общая прибыль составит

$$\Pi_{по} = \Pi_{тр} + \Pi_{сс} + \Pi_{гм}, \quad (13)$$

или в относительных единицах

$$\Pi_{по} : \Pi_{тр} = 1 + \Pi_{сс} : \Pi_{тр} + \Pi_{гм} : \Pi_{тр}, \quad (14)$$

где $\Pi_{тр}$ – прибыль, получаемая по традиционной схеме – отбойка горной массы, глубокое обогащение, переработка концентратов в металлы и соединения.

Второй член в уравнении (14) определяется соотношением [7-9]

$$\Pi_{сс} : \Pi_{тр} = \gamma_{мр} \xi_{п} (\gamma_{к} : J_{с} - 1) : K_{рм}, \quad (15)$$

где $\gamma_{мр}$ – выход «машинного» класса руды (+ 5 мм) после крупного и среднего дробления, $\xi_{п}$ – доля затрат, связанных с переработкой в общих затратах Z , $\gamma_{к}$ и $J_{с}$ – выход концентрированного продукта предварительного обогащения и извлечение в него компонента А соответственно.

В целях получения аналитического выражения для третьего члена в соотношении (14) уточним изменение затрат Z с применением предварительного обогащения – $Z_{по}$.

Общие затраты ГОКа в абсолютном выражении складываются из затрат по горной части $Z_{ар}$ предприятия и переработки $Z_{ап}$

$$Z_{а(тр)} = Z_{ар} + Z_{ап} \quad (16)$$

При работе по традиционной схеме весь добываемый объем руды уходит на ОФ

$$Q_p = Q_{\text{оф}}, \quad (17)$$

а затраты на единицу горной массы составляют

$$Z_a(\text{тр}) : Q_{\text{оф}} = Z_{\text{аг}} : Q_{\text{оф}} + Z_{\text{ап}} : Q_{\text{оф}} \quad (18)$$

или

$$Z(\text{тр}) = \xi_r + \xi_n \quad (19)$$

В случае применения предварительного обогащения объемы добычи горной массы вырастут в $K_{\text{рм}}$ раз, а затраты в абсолютном выражении составят

$$Z_a(\text{по}) = K_{\text{рм}} \cdot Z_{\text{аг}} + Z_{\text{ап}} \quad (20)$$

или в расчете на единицу добываемого сырья

$$Z_a(\text{по}) : K_{\text{рм}} \cdot Q_{\text{оф}} = K_{\text{рм}} \cdot Z_{\text{аг}} : K_{\text{рм}} \cdot Q_{\text{оф}} + Z_{\text{ап}} : K_{\text{рм}} \cdot Q_{\text{оф}}, \quad (21)$$

тогда

$$Z(\text{по}) = \xi_r + \xi_n : K_{\text{рм}} \quad (22)$$

Используя выражения (19) и (22) получим

$$Z(\text{по}) = Z(\text{тр}) + \xi_n (1 : K_{\text{рм}} - 1) \quad (23)$$

Подставив уравнения (8) и (23) в выражение для Π к случаям переработки с применением предварительного обогащения и по традиционной схеме получим уравнение для $\Pi_{\text{гм}} : \Pi_{\text{тр}}$ в соотношении (14)

$$\Pi_{\text{гм}} : \Pi_{\text{тр}} = K_{\text{рм}} [1 - \xi_n (1 : K_{\text{рм}} - 1) : (\Pi - Z(\text{тр}))] \quad (24)$$

Согласно данным Таблицы 1 $K_{\text{рм}} > 1$. Учитывая, что $(1 : K_{\text{рм}} - 1) < 0$, при нормальной организации бизнеса $(\Pi - Z(\text{тр})) > 0$, а второй член в квадратных скобках уравнения (24) не превышает $0,10 \div 0,20$, получим, что выражение в квадратных скобках повышает $K_{\text{рм}}$ не более чем на $10 \div 20$ %. В связи с чем можно без большой погрешности принять выражение $\Pi_{\text{гм}} : \Pi_{\text{тр}}$ равным минимально возможному значению

$$\Pi_{\text{гм}} : \Pi_{\text{тр}} \geq K_{\text{рм}} \quad (25)$$

При этом общая прибыль от работы по схеме с применением предварительного обогащения определяется в соответствии с выражениями (14), (15) и (25) соотношением

$$\Pi_{\text{по}} : \Pi_{\text{тр}} \geq 1 + \gamma_{\text{мр}} \xi_n (1 - \gamma_{\text{к}} : J_{\text{с}}) : K_{\text{рм}} + K_{\text{рм}} \quad (26)$$

В Таблице 2 представлены результаты оценки $\Pi_{\text{по}} : \Pi_{\text{тр}}$ для нескольких технологических вариантов переработки.

Таблица 2

Величина R	Значение $K_{\text{рм}}$	$\Pi_{\text{по}} / \Pi_{\text{тр}}$ (Вариант 1)		$\Pi_{\text{по}} / \Pi_{\text{тр}}$ (Вариант 2)		$\Pi_{\text{по}} / \Pi_{\text{тр}}$ (Вариант 3)	
		2	Σ	2	Σ	2	Σ
2	3	4	5	6	7	8	9

0,10	1,11	0,24	2,35	0,08	2,19	0,01	2,12
0,20	1,25	0,22	2,47	0,07	2,32	0,01	2,26
0,30	1,43	0,19	2,62	0,06	2,49	0,01	2,44
0,40	1,65	0,16	2,81	0,05	2,70	0,01	2,66
0,50	1,98	0,14	3,12	0,05	3,04	0,00	2,98
0,60	2,46	0,11	3,57	0,04	3,50	0,00	3,46
0,70	3,23	0,08	4,31	0,03	4,26	0,00	4,23
0,80	4,78	0,06	5,84	0,02	5,80	0,00	5,78
0,90	9,26	0,03	10,29	0,01	10,27	0,00	10,26

Примечание: Цифрой 2 обозначено значение второго члена в уравнении (26), а Σ - суммарная величина $\Pi_{\text{по}} : \Pi_{\text{тр}}$ для вариантов:

Вариант 1 : $\gamma_{\text{мп}} = 80 \% ; \xi_{\text{п}} = 50 \% ; \gamma_{\text{к}} = 30 \% ; J_{\text{с}} = 90 \% .$

Вариант 2 : $\gamma_{\text{мп}} = 60 \% ; \xi_{\text{п}} = 40 \% ; \gamma_{\text{к}} = 50 \% ; J_{\text{с}} = 80 \% .$

Вариант 3 : $\gamma_{\text{мп}} = 40 \% ; \xi_{\text{п}} = 30 \% ; \gamma_{\text{к}} = 70 \% ; J_{\text{с}} = 75 \% .$

Из Таблицы 2 видно, что вклад в величину $\Pi_{\text{по}} : \Pi_{\text{тр}}$ второго члена в уравнении (26) не превышает 10 % отн. Из чего следует, что основное увеличение прибыли с внедрением предварительного обогащения обеспечивается ростом объема перерабатываемой горной массы: для полиметаллических руд – в 2,1 ÷ 2,6 раза, для редкометальных и редкоземельных – в 2,6 ÷ 3,6 раза, для золотосодержащих руд – в 4,2 ÷ 10,3 раза.

Используя уравнения (6), (23) и (26) получим следующее выражение для величины $K_{\text{эф}}(\text{по})$

$$K_{\text{эф}}(\text{по}) = 1 : (1 + \Pi_{\text{по}}/3\Pi_{\text{по}}) \quad , \quad (27)$$

или

$$K_{\text{эф}}(\text{по}) = 1 : \{1 + P_{\text{п}}(\text{тр}) \cdot D\}, \quad (28)$$

где $P_{\text{п}}(\text{тр})$ – рентабельность по традиционной схеме работы ГОКа,

$$D = [1 + \gamma_{\text{мп}} \xi_{\text{п}} (1 - \gamma_{\text{к}} : J_{\text{с}}) : K_{\text{рм}} + K_{\text{рм}}] : [1 + \xi_{\text{п}} (1 : K_{\text{рм}} - 1) / 3 (\text{тр})] \quad . \quad (29)$$

Учитывая, что $K_{\text{рм}} > 1$, а величина $[1 + \xi_{\text{п}} (1 : K_{\text{рм}} - 1) : 3 (\text{тр})] \leq 1$ получим, что D варьируется в пределах

$$D > (2,1 \div 10,3) \quad . \quad (30)$$

Приняв $P_{\text{п}}(\text{тр}) = 40 \%$ получим, что величина $K_{\text{эф}}(\text{по}) < (0,2 \div 0,6)$. Из чего следует, что внедрение новаций рудоподготовки и предварительного обогащения обеспечивает отечественным горно-металлургическим компаниям равные условия хозяйствования и конкурентоспособности не только на российских месторождениях, но и с зарубежными компаниями. А также переход в режим расширенного воспроизводства за счет реинвестирования части получаемой прибыли по REIP – цепочки (profit – exploration – investment – profit), определяя инвестиционную привлекательность горнодобывающей промышленности России. Кроме того, применение новаций рудоподготовки и

предварительного обогащения открывает и облегчает также доступ в горнорудную промышленность предприятиям малого и среднего бизнеса, поскольку значительно снижает минимальный порог производительности ГОКа по горной массе, необходимые для организации производства капитальные затраты, сроки их окупаемости.

Библиографический список:

1. Батугина Н.С. Новые аспекты оценки разубоживания руд при разработке месторождений / Н.С. Батугина, И.Д. Джемакулова, С.М. Ткач // Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. научн. тр. / Красноярск, 2006, Вып. 4, с. 168-177.

2. Ткач С.М., Батугина Н.С., Баракаева И.Д. Условия компенсации неблагоприятных изменений управляемых и неуправляемых факторов внешней и внутренней среды при разработке рудных месторождений / Современные технологии освоения минеральных ресурсов, Сборник научных трудов под ред. д.т.н. Кислякова В.Е., вып. 5, Красноярск, СФУ, 2007, с. 296-302.

3. Конев А.В., Шульгина К.А., Миронова Ж.В. Проблемы переработки руд цветных металлов и золота с предварительным обогащением. – Сб. докл. Пятого международного конгресса «Цветные металлы – 2013». – Красноярск: 2013, с. 78-82.

4. Конев А.В., Киселева С.П., Штреслер К.А., Миронова Ж.В. Проблемы отработки месторождений руд цветных металлов и золота с предварительным обогащением. – Записки горного института, С-Петербург, 2013, т. 205, с. 179-184.

5. Конев А.В., Шульгина К.А., Богдановская С.Ф., Миронова Ж.В., Кузина Л.Н. Актуальность и проблемы применения предварительного обогащения при отработке месторождений руд цветных металлов и золота. – Сб. докл. Шестого международного конгресса «Цветные металлы – 2014». – Красноярск: 2014, с. 146-161.

6. Конев А.В., Шульгина К.А., Богдановская С.Ф., Миронова Ж.В., Кузина Л.Н. Проблемы разведки и оценки перспективности отработки месторождений руд цветных металлов и золота с применением предварительного обогащения. – Сб. докл. Шестого международного конгресса «Цветные металлы – 2014». – Красноярск: 2014, с. 97-113.

7. Конев А.В., Шульгина К.А., Миронова Ж.В. Повышение конкурентноспособности отечественной цветной металлургии с использованием предварительного обогащения. – Сб. докл. Пятого международного конгресса «Цветные металлы – 2013». – Красноярск: 2013, с. 675-679.

8. Штреслер К.А., Миронова Ж.В., Конев А.В., Киселева С.П. Повышение инвестиционного потенциала месторождений руд цветных металлов и золота

предварительным обогащением. Записки горного института, С-Петербург, 2013, т. 205, с. 280-284.

9. Конев А.В., Шульгина К.А., Богдановская С.Ф., Миронова Ж.В., Кузина Л.Н. Экономическое моделирование условий применения предварительного обогащения для повышения эффективности работы горно-металлургических предприятий. – Сб. докл. Шестого международного конгресса «Цветные металлы – 2014». – Красноярск: 2014, с. 724-731.

10. Самсонов Н.Ю. Взаимосвязь запасов золота с экономическими показателями добычи. Регион: экономика и социология, 2010, № 1, с. 306-315.

11. Татарников А.П. Ядерно-физические методы обогащения полезных ископаемых. – М.: Атомиздат, 1974.

12. Мокроусов В.А. / В.А. Мокроусов, В.А. Лилиев // Радиометрическое обогащение нерадиоактивных руд. М.: Недра, 1979, 187 с.

13. Ревнивцев В.И. / В.И. Ревнивцев, Т.Г. Рыбакова, Е.П. Леман // Рентгенорадиометрическое обогащение комплексных руд цветных и редких металлов // М.: Недра, 1990, 120 с.

14. Федоров Ю.О./ Ю.О. Федоров, О.В. Коренев, В.А. Короткевич, В.П. Цой, М.Ю. Федоров, П.И. Ковалев, И.У. Кацер // Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации (РРС) золотосодержащих и других типов руд // Золотодобывающая промышленность, 2004, № 4, с.16-19.

15. Федоров Ю.О./ Ю.О. Федоров, И.У. Кацер, О.В. Коренев и др.// Опыт и практика рентгенорадиометрической сепарации руд // Известия высших учебных заведений. Горный журнал (Уральское горное обозрение), 2005, № 5, с. 21-37.

16. Чантурия В.А. Современные проблемы обогащения минерального сырья в России. Вестник ОГГГГН РАН, № 4 (6), 1998, 17 с.