

В темных участках касситерита чаще встречаются минерализованные микротрещины, микрзоны с пластинчатой и таблитчатой морфоструктурами, а также зафиксировано большее количество микровключений различных минералов. В светлых участках касситерита наблюдаются значительные по площади микроблоки с ровной поверхностью скола. Со структурными особенностями касситерита, выраженными зонами поперечной пластинчатости и содержащимися в них микровключениями связаны псевдохроматический плеохроизм, уровень тона, цветовые оттенки и прозрачность кристаллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов, В.В. Цветные камни / В.В. Буканов. — СПб.: Энциклопедия, 2008. — 416 с.
2. Геология оловорудных месторождений СССР / Под ред. С.Ф. Лугова. — Т. 2. — Кн. 1. Оловорудные месторождения СССР. — М.: Недра, 1986. — 429 с.

3. Методические указания по поискам и перспективной оценке месторождений цветных камней. Вып. 27. Коллекционные камни / Под ред. Н.И. Кашева, В.П. Дроздова. — М.: Союзкварцсамоцветы, 1987. — 76 с.
4. Петроченков, Д.А. Формационные типы оловорудных месторождений, перспективные на коллекционные и ювелирные касситериты / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2007. — № 2. — С. 31–35.
5. Петроченков, Д.А. Коллекционные и ювелирные касситериты месторождения Иультин / Д.А. Петроченков // Изв. вузов. Геология и разведка. — 2018. — № 1. — С. 76–80.
6. Полянин, В.С. Минерально-сырьевая база цветных камней России: перспективы ее освоения и развития / В.С. Полянин, Т.А. Полянина, Е.Н. Дусманов и др. // Разведка и охрана недр. — 2015. — № 9. — С. 66–76.
7. Kolin, J.H. Cassiterite from Viloco, Bolivia / J.H. Kolin // Gems and Gemology. Summer. 2002. — P. 175–176.
8. Miler, M. Standard Catalog of Gem Values. / M. Miler, S. Sinkankas // Geoscience Press. Inc. Tucson, Arisona, 1977. — P. 271.

© Петроченков Д.А., Ружицкий В.В., 2019

Петроченков Дмитрий Александрович // p-d-a@mail.ru
Ружицкий Владимир Васильевич // vims@df.ru

УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА

УДК 338.33: 553.04

Краснов О.С. (АО «ВНИГРИ»), Салихов В.А., Король Л.Н. (Новокузнецкий филиал ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (НФИ КемГУ))

МЕХАНИЗМ ОПТИМИЗАЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦЕННЫХ РЕДКИХ И ЦВЕТНЫХ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В МИНЕРАЛЬНОМ СЫРЬЕ И ТЕХНОГЕННЫХ ОТХОДАХ

В связи с дефицитом для промышленности РФ многих цветных и редких металлов предложен механизм оптимизации использования этих металлов, содержащихся в техногенных месторождениях. Проведен анализ потребления цветных и редких металлов в мире и России. Оценена эффективность разработки техногенных месторождений в сравнении с рудными. Определено, что выбор объектов, методов разработки, а также видов получаемой продукции и направлений ее использования, проводится путем комбинирования с учетом социально-экологического эффекта. Дана оценка влияния проектов по извлечению ценных металлов на социально-экономическое развитие региона. **Ключевые слова:** металлы, техногенные отходы, оптимизация, эффективность.

Krasnov O.S. (VNIGRI), Salikhov V.A., Korol L.N. (Novokuznetsk Institute (branch) Kemerovo State University)
THE MECHANISM FOR OPTIMIZING THE USE OF VALUABLE RARE AND NON-FERROUS METALS CONTAINED IN MINERAL RAW MATERIALS AND INDUSTRIAL WASTES

Due to the shortage of many non-ferrous and rare metals for the RF industry, a mechanism has been proposed to optimize the use of these metals contained in man-made deposits. The

analysis of consumption of non-ferrous and rare metals in the world and Russia is done. The efficiency of the development of technogenic deposits in comparison with ore ones is estimated. It has been determined that the selection of objects, development methods, as well as the types of the products obtained and the directions of their use, is carried out by combining taking into account the socio-ecological effect. The assessment of the impact of projects on the extraction of valuable metals on the regional socio-economic development is given. **Key-words:** metals, industrial waste, optimization, efficiency.

В XXI в. продолжается развитие металлургического и машиностроительного комплексов, развивается космическая и авиационная техника, электроника и другие отрасли промышленности. Растет потребность в цветных и, особенно, в редких металлах — как в развитых, так и в развивающихся странах (например, в Китае). Прогнозируемый рост экономики в России предполагает рост потребностей в цветных и редких металлах.

Таким образом, проблема воспроизводства минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов становится все более актуальной в мире и России. В условиях рыночной экономики становятся нерентабельными многие ранее разведанные месторождения с балансовыми запасами металлов (возрастают расходы на электроэнергию, на транспортировку минерального сырья и т.д.). При этом по мере отработки промышленных запасов руд ухудшаются горно-геологические условия эксплуатации, снижается не только количество, но и качество руд. Поэтому все больший интерес в качестве ресурса этого дефицитного минерального сырья представляют техногенные месторождения.

Концепция оптимизации использования ценных металлов, содержащихся в техногенных отходах, пред-

Таблица 1
Изменение цен на основные цветные металлы в 2006–2018 гг., долл. США/т

Металл	2006 г. октябрь	2008 г. ноябрь	2009 г. август	2009 г. декабрь	2012 г. декабрь	2013 г. октябрь	2015 г. август	2018 г. декабрь
Al	2 731	1 720	1 900	1 815	2 000	1 805	1 805	1 930
Cu	7 846	3 665	5 900	5 955	7 800	7 186	7 186	6 100
Pb	1 800	1 086	1 800	2 161	2 300	2 113	2 113	1 950
Zn	3 995	1 210	1 790	1 905	2 050	1 887	1 887	2 600
Ni	34 500	10 160	18 600	17 300	17 300	13 895	13 895	11 000
Sn	15 000	12 700	14 800	14 225	23 000	23 100	23 100	19 300

полагает поэтапное исследование этих объектов. Сам механизм включает следующие этапы: сравнение эффективности производства этих металлов из рудных или техногенных месторождений; оптимизация использования ценных металлов (выбор перспективных объектов и рациональных методов извлечения), содержащихся в техногенных ресурсах, для решения проблем рационализации природопользования и инновационного развития экономики региона. Все исследования базируются на анализе и прогнозе динамики потребления цветных и редких металлов в мире и РФ.

Мировое потребление цветных металлов ежегодно прирастает примерно на 3 %, а редких металлов — на 3–10 %. Особенно заметными темпами увеличивается потребление меди, никеля, олова. В основном это происходит за счет бурно развивающихся экономик Китая, Индии и других стран юго-восточной Азии [3].

В целом, анализируя тенденции использования минерально-сырьевой базы цветных и редких металлов, следует отметить рост их добычи и потребления на

3–10 % в год, рост цен на 10–15 % в год до 2005 г., резкий спекулятивный рост цен (в 2–4 раза) в 2006 г., опережающий рост объемов потребления. В октябре 2008 г. произошел мировой финансовый кризис и к декабрю 2008 г. произошло резкое снижение цен на цветные металлы (табл. 1) [8], цены на большинство редких металлов до августа 2009 г. оставались устойчивыми и имели тенденции к росту, но затем отмечено резкое снижение цен (более 50 %). К концу 2009 г. цены на редкие металлы вернулись на уровень августа 2009 г. Цены на цветные металлы в 2009 г. имели тенденцию к снижению, к концу года отмечен незначительный рост цен. В 2010–2012 гг. рост цен продолжился, но с 2012 г. спрос и цены на цветные металлы опять стали снижаться (табл. 2).

Сжимание рынка цветных и редких металлов продолжалось до 2016 г. (табл. 3). Сжатие рынка металлов за 5 лет (2011–2016 гг.) составило 37 %. При этом сжатие рынка цветных металлов составило 29 %. В 2016 г. мировой рынок цветных металлов приостановил падение [1]. В настоящее время ситуацию на этом рынке можно охарактеризовать как неустойчивый рост (табл. 1, 2).

Пик стоимости редкоземельных металлов (РЗМ) достигнут в период лето — осень 2011 г. (табл. 4) [11], затем отмечен спад, вызванный частичным восстановлением экспортных поставок Китаем [2]. В 2016 г. производство редкоземельных металлов снизилось до 100 тыс. т, а цены упали в несколько раз (например, диспрозий — 400 долл. США/кг) [1]. Эта тенденция сохраняется и сейчас. В августе 2018 г. в КНР цены на РЗМ составили (долл. США/кг): диспрозий — 240, иттрий — 33, празеодим — 97, тербий — 580 [12], но в перспективе прогнозируется рост спроса на РЗМ из-за востребованности в IT-технологиях.

Рынок цветных металлов России также неустойчив. Также наблюдался спад их производства в 2009 и 2012 гг. С 2012 г. отмечен неустойчивый спад, а с 2016 г. — неустойчивый рост производства цветных металлов. Соответственно растет импорт этих металлов. При этом РФ импортирует полиметаллы и другие цветные (вольфрам, молибден, титан), а также редкие (ванадий, германий, тантал, ниобий) металлы [9, 10]. Несмотря на одно из ведущих мест России в мире по разведанным запасам многих редких и редкоземельных металлов, сравнительно мал удельный вес этих металлов в мировом производстве [4].

Таблица 2
Цены на цветные и редкие металлы (2000–2018 гг.)

Металл	Цена, долл. США/кг			
	2000 г.	2006 г.	2012 г.	2018 г.
Вольфрам	10	45	50–60	35–45
Ванадий (пентаксид)	10	40	30–40	40–45
Алюминий металлич.	1,5	2,5–3	2,0	1,8–1,9
Стронций металлич.	60	120	150	120–130
Медь рафинир.	2–2,5	7–11	7,8	5,5–6,8
Никель	5–8	30–35	17,3	9–12
Олово	5,5–7	10–15	23	19–20
Свинец	0,6–0,9	1,5–2	2,3	1,9–2,3
Цинк	1–1,3	3,5–4	2	2,5–2,8
Молибден	5–10	80	75	24–26
Титан губчатый	10	20–25	10–15	7–12
Цирконий губчатый	25	30	20–25	20–25
Ниобий	60–75	230–240	200–220	70–100
Галлий	380–400	1 200	920–930	155–195
Германий	825–1 300	2 500	1 750	1 300–1 650

Эти обстоятельства требуют развития в РФ собственного производства редких и цветных металлов, в том числе и за счет их извлечения из техногенных месторождений с повышенными содержаниями ценных металлов [6].

Перспективность и конкурентоспособность производства по извлечению ценных металлов из техногенных отходов можно наглядно продемонстрировать с помощью метода последовательного размещения про-

изводства (так называемых технологических цепочек), а также с помощью теории графов [7].

С помощью метода технологических цепочек можно сравнить традиционный путь получения конечного продукта (металлов и металлоизделий) из рудных месторождений и из отходов переработки руд (техногенных месторождений). Получение конечного продукта из руды включает четыре звена переработки: добычу (получение из горной массы руды); обогащение (полу-

чение из руды концентрата); производство из концентрата промежуточного продукта; получение конечного продукта (рис. 1).

Получение металлов и металлоизделий из техногенных отходов проходит в два этапа: извлечение из отходов промежуточных продуктов, а затем получение из промежуточных продуктов конечных продуктов. При подобном подходе на каждом этапе сравниваются следующие годовые показатели: себестоимость, объем капиталовложений, годовая мощность (производительность), концентрация полезного компонента. При этом величины себестоимости и капиталовложений поэтапно суммируются.

Себестоимость получения металлов традиционным путем, включая затраты на геологоразведочные работы, добычу руды, ее обогащение, получение металлов и металлоизделий, будет значительно выше, чем при эксплуатации техногенных месторождений. На величину общих затрат влияет не только большое количество этапов (технологических цепочек), но и больший масштаб проводимых работ. Значительно больше будет и объем капиталовложений в разработку рудного месторождения, а также годовая мощность (производительность) горнодобывающего предприятия.

Добыча редких и цветных металлов на руднике может составлять тысячи, десятки и сотни тысяч тонн. Извле-

Таблица 3
Состояние мирового рынка цветных и редких металлов в 2011–2016 гг.

Металл	Объем производства, тыс. т	Цена, долл. США/кг	Объем рынка, млн. долл. США	Доля на рынке, %	В сравнении с 2011 г., %		
					Объем пр-ва	Цена	Объем рынка
Алюминий	74 122,55	1,61	119 274	10 336	5,4	-6,7	-3,1
Медь	23 560,75	4,87	114 668	9,937	4	-9	-6,8
Цинк	13 648,82	2,1	28 626	2,481	0,9	-1,0	-0,2
Свинец	10 751,31	1,88	20,181	1,749	0,1	-4,3	-4,2
Никель	1 934	9,65	18 654	1,617	4,1	-11,6	-9,8
Олово	342,52	17,88	6,124	0,531	-2,1	-6,3	-7,7
Золото	4,57	40140,85	183475	15,9	0,9	-9,3	-8,8
Серебро	33,35	548,81	18 305	1,586	0,4	-10,3	-10,1
Платина	0,25	31825,38	7 835	0,679	-1,5	-8,5	-9,3
Палладий	0,28	19 739,59	5 551	0,481	-1,4	-3,2	-4,4
РЗМ	126,5	72,5	9 171	0,795	-0,5	-14,8	-14,9
Молибден	242,4	14,52	3 519	0,305	-1,6	-11,5	-12,2
Ниобий	65,69	47,71	3 134	0,272	0,9	-2,9	-2,2
Вольфрам	92,45	21,35	1 974	0,171	5	-10	-7,5
Ванадий	83,53	18,5	1 546	0,134	3,4	-7,1	-5,0
Титан	219,93	4,06	892	0,077	2,0	-11,0	-10,1
Цирконий	5	50	250	0,022	0,0	-4,4	-4
Германий	0,18	1151	211	0,013	11,1	-5,3	2,8
Галлий	0,48	134	64	0,006	11	-16,6	-14,8
Тантал	1,39	127,83	178	0,015	15,2	-10,7	-37
Индий	0,82	240,17	198	0,017	5,7	-13,0	-11,0
Висмут	16,85	9,93	167	0,014	1,1	-12,1	-11,7
Гафний	0,02	548,00	11	0,001	-16,0	0,1	-16,0
Теллур	0,12	31,64	3,9	0,000	10,9	-18,2	-17,2

Таблица 4
Динамика изменения цен на РЗМ в мире в 2008–2012 г., долл. США/кг

РЗМ	Средняя цена за весну 2011 г.	Средняя цена за лето 2011 г.	Средняя цена за осень 2011 г.	Средняя цена за зиму 2011–2012 гг.	Средняя цена за март 2012 г.
Гадолиний	173,7	218,7	200	200	200
Диспрозий	1072,5	2760	2876,6	2516,6	2000
Европий	1756,6	5793,3	5436,6	4916,6	4500
Иттрий	158	198,5	173,3	162	155
Лантан	145,4	108,6	103,3	63	53
Неодим	274,4	440,4	315	202,5	186
Празеодим	232,5	273,2	273	250	235
Самарий	142,5	179,6	168	138,3	137
Тербий	1800	4400	4126,4	3783,3	3600
Церий	147,5	159,5	112,7	67,5	55

Входы – Звенья переработки – Выходы

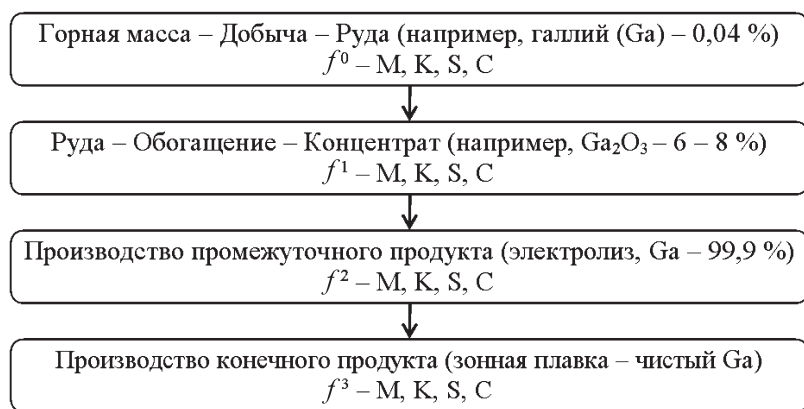


Рис. 1. Общий вид производственной цепочки: М — годовая мощность; К — объем капиталовложений; S — годовая себестоимость; С — концентрация полезного компонента; f^0, f^1, f^2, f^3 — коэффициенты расхода вещества, поступившего на вход, на единицу сырья и продукта на выходе

чение металлов из техногенных отходов на специальных установках позволит получать только тонны и десятки тонн ценных металлов в год. В то же время при близких показателях концентрации ценных металлов (сотые, десятые процента) себестоимость их извлечения из техногенных отходов может быть значительно ниже традиционной на каждом этапе и, разумеется, в сумме. Концентрации ряда цветных металлов (например, свинца, цинка и меди) в рудах таковы, что для получения 1 т металла требуется переработать не менее 100 т руды [7]. При получении этих металлов техногенным путем те же 100 т отходов минерального сырья будут утилизироваться. Содержание редких и рассеянных элементов (галлий, германий и др.) в рудах, и в углях может составлять десятые, сотые доли процента и ниже. При этом содержание этих элементов в золошлаковых отходах углей выше на порядок, чем в углях, но для извлечения металлов потребуется переработать сотни, тысячи тонн отходов. Таким образом, сократятся площади земель, занимаемые техногенными отходами, снизится нагрузка на окружающую среду. Оставшийся после извлечения металлов из отходов материал можно использовать в строительстве. Получаемые строительные материалы будут безопасны для здоровья людей, так как многие ценные металлы, извлекаемые из золошлаковых отходов (бериллий, ванадий, кобальт и др.), являются токсичными.

Расчет суммарной себестоимости по технологической цепочке следует производить (на первом этапе — S^1):

$$S^1 = f^1 \times (S^0 + a^1 + t \times l^1),$$

где S^0 — себестоимость добычи руды, руб./т; S^1 — себестоимость получения концентрата, руб./т; a^1 — затраты на обогащение руды и получение 1 т концентрата, руб.; l^1 — расстояние транспортировки руды до места обогащения; t — тариф перевозки 1 т груза (≈ 10 долл. США за 1 т на расстояние до 1000 км); f^0, f^1, f^2, f^3 — коэффициенты расхода продукции, по-

ступившей на вход, на этапах добычи руды, получения концентрата, пром. продукта, металла. Эти коэффициенты рассчитываются с учетом величины извлечения металлов (ϵ), определяемой по их содержанию (C), т.е. $f = 1 / \epsilon$, например:

$$\epsilon = \frac{C_{\text{конц}} \times (C_{\text{руда}} - C_{\text{отходы}})}{C_{\text{руда}} \times (C_{\text{конц}} - C_{\text{отходы}})},$$

При расчете ϵ на стадиях 3 и 4 коэффициенты f^2, f^3 можно объединить в единую стадию получения металла. Тогда в среднем для цветных металлов значение $f^1 = 1,3$; f^2 и $f^3 = 1,2$, для редких металлов в рудах $f^1 = 1,5$; f^2 и $f^3 = 1,25$, а для зол углей f^2 и $f^3 = 1,2$.

Себестоимость получения исходного продукта ($S_{\text{к.п.}}$), можно определить:

$$S_{\text{к.п.}} = C \times \alpha \times (1 - \Pi),$$

где C — цена конечного продукта, тыс. руб.; α — удельный вес себестоимости исходного продукта в конечном, доли ед.; Π — приемлемая норма прибыли предприятия, выпускающего конечный продукт, доли ед.

Объем капиталовложений рассчитывается на каждом этапе на 1 т продукции с учетом объемов ее производства. Производительность оценивается с помощью коэффициента обогащения (KF), который показывает, например, столько тонн руды (или ЗШО) необходимо переработать для получения 1 т концентрата ($KF = C_{\text{конц}} / C_{\text{руда}} \times \epsilon$) или с помощью коэффициента извлечения массы (MR), величины обратной KF. Он показывает, какая часть добытой руды (или ЗШО) извлекается в концентрат ($MR = 1 / KF$).

Кроме того, надо учитывать, что эффективность геологоразведочных работ по техногенным месторождениям, как отношение ценности минеральной продукции к затратам на геологоразведочные работы будет существенно выше.

Эффективность извлечения ценных редких и цветных металлов можно наглядно продемонстрировать также с помощью теории графов. Графом, в общем случае, называется абстрактный объект, состоящий из двух множеств — множества вершин (или узлов) и множества ребер, соединяющих определенным образом эти вершины [7]. Если для ребра определено понятие «начала» и «конца», т.е. задана его ориентация, то оно называется ориентированным ребром или дугой. Соответственно если все ребра графа ориентированы, то такой граф называется ориентированным графом.

В нашем случае с помощью ориентированных графов можно наглядно сравнить поэтапное производство редких металлов из рудных и техногенных месторождений. Если каждой вершине ориентированного графа сопоставить описание функционирования этого элемента (объекта), то получим локальную модель этого элемента (вершины). Аналогично, каждому ребру можно сопоставить локальную модель этого ребра,

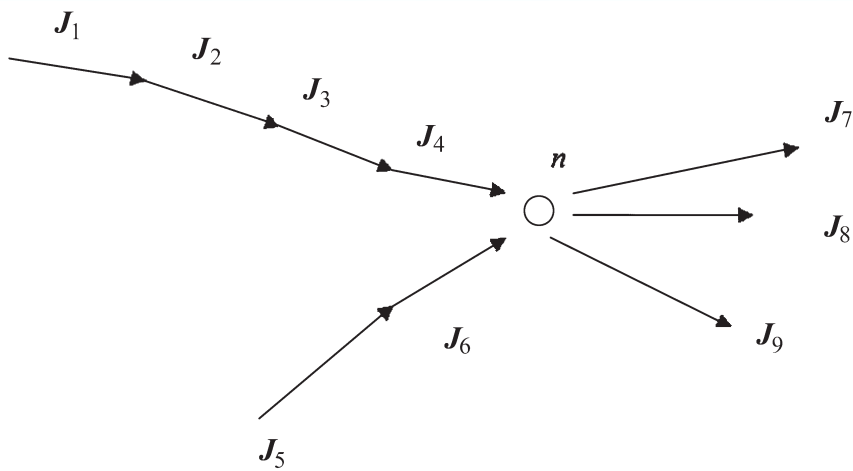


Рис. 2. Сравнительная эффективность получения редких металлов: J_1, J_2, J_3, J_4 — стадии производства металлов из рудных месторождений (соответственно добыча, обогащение, получение промежуточного продукта, получение металла); J_5, J_6 — получение редких металлов из техногенных отходов; n — производство металлоизделий; J_7, J_8, J_9 — применение металлоизделий в различных отраслях промышленности

т.е. описание соответствующей связи. Граф, описывающий структуру рассматриваемой части или полной системы совместно с совокупностью локальных моделей ее компонент, представляет собой сетевую модель рассматриваемого объекта, которая описывает структуру и определенные качественные и количественные закономерности его функционирования.

Данная модель может быть представлена в статической и динамической форме. При построении моделей должны быть учтены ограничения по минеральному сырью, капитальным и производственным затратам, по экологическим параметрам, объему производства (не более потребностей рынка). Все ограничения, кроме двух последних, будут удовлетворяться автоматически (при решении задачи оптимизации). Экологические параметры оцениваются отдельно для каждого технологического этапа производства.

Поэтапное получение металлов из рудных объектов можно изобразить с помощью ориентированных дуг (векторов), проходящих через вершины J_1, J_2, J_3 и J_4 (соответственно добычу руды, ее обогащение, получение промежуточного и конечного продуктов). Получение редких металлов из техногенных отходов можно аналогично представить с помощью ориентированных дуг, проходящих через вершины J_5 и J_6 , т.е. получение концентрата и металлов. Точка n отражает объемы производства металлоизделий, а вектора, проходящие через вершины J_7, J_8 и J_9 — области применения этих металлоизде-

лий в промышленности (рис. 2). Тогда падение объемов потребления металлоизделий в промышленности приведет к падению объемов их производства, что повлечет снижение спроса на металлы. В этом случае более устойчивыми к колебаниям спроса будут производства по извлечению металлов из золошлаковых отходов. Учитывая невысокие объемы потребления редких металлов, такие производства могут занять устойчивую рыночную нишу, дополнительно производя и цветные металлы. Поскольку в Российской Федерации прогнозируется рост внутреннего потребления редких и цветных металлов, такая разнообразная продукция (производимая в небольших объемах) будет всегда востребована.

Меньший уровень капитальных вложений и себестоимости, оцененные ранее методом технологических цепочек, также подтверждают эффективность такого производства. Производство металлов по технологической цепочке из рудных месторождений требует больших капитальных и производственных затрат, которые возрастают на каждом этапе. Малое наукоемкое производство в условиях снижения спроса и, как следствие, падения цен на цветные и редкие металлы (коммерческие риски) будет более устойчиво к финансовым рискам, связанным с большими объемами инвестиций в проект ($K_{рудн.} > K_{техн.}$, $S_{рудн.} > S_{техн.}$, $C_{рудн.} > C_{техн.}$, $M_{рудн.} > M_{техн.}$). При этом спрос (D) на металлы может быть $-M_{техн.} \leq D \leq M_{рудн.}$.

Получаемая металлопродукция может быть востребована на машиностроительных и металлургических



Рис. 3. Модель влияния комплексного использования цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях на ресурсные циклы региона

Таблица 5
Геолого-экономическая оценка цветных и редких металлов

Категории запасов металлов	Запасы / ресурсы металлов	Наличие технологий извлечения	Область применения	Объемы потребления
экономические	балансовые	промышленные	широкая	большие
потенциально экономические	забалансовые	опытно-промышленные	узкая	малые
возможно экономические	ресурсы	лабораторные	в настоящее время нет	нет

предприятиях, выпускающих широкий спектр продукции. Ряд ценных металлов (таких как титан, цирконий, стронций, галлий, германий) может быть востребован и на внешних рынках. Прибыль от реализации металлов (Π_M) с учетом объемов продаж и условий продаж металлов определяется:

$$\Pi_M = V_1 \times C_1 + V_2 \times C_2 + V_n \times C_n) - Z, \quad (1)$$

где $V_1 \div V_n$ — годовые объемы реализации сортов металлов, т или кг; $C_1 \div C_n$ — сортовые цены за единицу продукции, руб.; Z — затраты на производство и реализацию металлов, руб. При этом прибыль — это целевая функция оптимизации извлечения металлов, а другие показатели — ее переменные параметры.

Кроме экономического эффекта следует учитывать также социально-экологический эффект, получаемый по данным проектам. Эти эффекты будут оказывать благоприятное воздействие на природные ресурсы и инновационное развитие региона (рис. 3).

В целом путем комбинирования на основе экономического и социально-экологического эффектов по проектам, выбираются объекты и методы их разработки, определяется продукция: концентраты металлов или металлы, которые будут производиться малыми наукоемкими предприятиями. Кроме того, определяются перспективные направления использования ценных цветных и редких металлов.

Оптимизация перспективных направлений использования ценных цветных и редких металлов проводится с помощью количественных критериев геолого-экономической оценки; в результате оценивается влияние проектов по извлечению металлов из техногенных отходов на природную среду и на решение проблем инновационного развития и диверсификации промышленности региона.

Геолого-экономическая оценка цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях может быть представлена в матричной форме (табл. 5).

Подобный подход основан на принципах рамочной классификации ООН «запасы / ресурсы». Последовательно оцениваются содержания исследуемых металлов в техногенных месторождениях, что позволяет оценить их

запасы (балансовые, забалансовые) и ресурсы, наличие технологий (промышленных, опытно-промышленных и лабораторных) извлечения металлов из техногенных месторождений, а также область применения и возможные объемы потребления ценных цветных и редких металлов. Ответы на

эти вопросы позволяют определить варианты использования металлов, основанные на международной классификации минерального сырья. Таким образом, согласно рамочной классификации ООН «запасы/ресурсы», металлы оцениваются по трем категориям запасов: экономической, потенциально экономической, и возможно (или условно) экономической.

Это позволяет оптимизировать варианты извлечения дефицитных и высоколиквидных металлов из комплексных рудных и угольных месторождений, а также из техногенных отходов металлургических и энергетических предприятий (рис. 4). Например, забалансовые запасы цветных и редких металлов (титана, циркония, стронция, ванадия, галлия, германия, иттрия и др.), содержащихся в углях или золошлаковых отходах углей и имеющих узкую область применения, могут быть оценены по категории экономических — при внедрении рентабельных промышленных технологий извлечения этих металлов и при больших объемах потребления металлов (формула (1)).

Дальнейшая экономическая оценка проектов предполагает следующее. Как указывалось выше, путем комбинирования на основе экономического и социально-экологического эффектов по проектам, должны выбираться перспективные объекты (комплексные рудные и угольные месторождения, а также техногенные отходы металлургических и энергетических предприятий) и рациональные методы их разработки, определяется продукция: концентраты металлов или

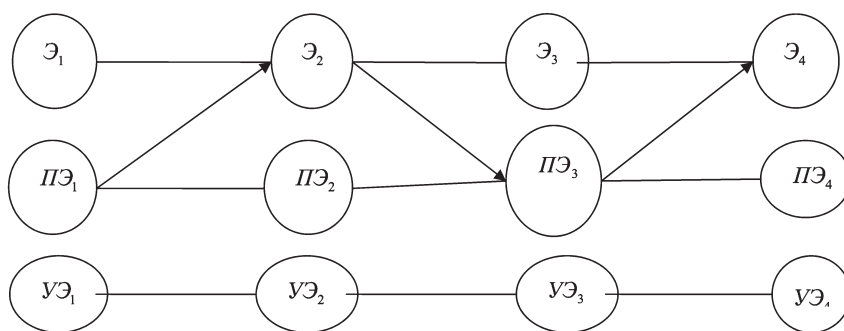


Рис. 4. Оценка использования цветных и редких металлов, содержащихся в комплексных рудных и угольных месторождениях, а также в их техногенных отходах с помощью квазиупорядоченного графа, подразделяющего запасы металлов на: экономические (Э), потенциально экономические (ПЭ) и условно экономические (УЭ) по 4 параметрам: наличию запасов и ресурсов металлов в углях и/или в их золо-шлаковых отходах (1), наличию технологий извлечения металлов (2), областям применения металлов (3), объемам потребления металлов (4)

металлы, которые будут производиться малыми наукоемкими предприятиями (рисунок 5). При этом основным критерием выбора будет прибыль от продажи этих продуктов с учетом социально-экологического эффекта в денежном эквиваленте.

Переработка техногенных отходов металлургических предприятий и энергетических предприятий ведет к формированию техногенного кластера. Развитие предприятий черной и цветной металлургии в РФ, прогнозируемое расширение выпуска высококачественных сталей и других металлоизделий, приведут к росту потребности во многих ценных цветных и редких металлах. Ряд цветных и редких металлов (особенно редкоземельные металлы) являются остродефицитными и в России, и в мире.

Именно поэтому необходимо оценить возможности их извлечения не только из рудных месторождений, но и из техногенных (один из перспективных источников — угли и отходы угольной продукции), что также позволит сократить импорт этих металлов и, возмож-

но, наладить экспорт ряда дефицитных металлов. Данный вариант развития угольной и металлургической отраслей промышленности позволит улучшить не только экономические, но также социальные и экологические показатели на региональном уровне с получением разнообразного мультипликативного эффекта.

Формирование техногенного кластера ведет к формированию экологического кластера. Экологический кластер можно рассматривать как совокупность предприятий и организаций, являющихся звеньями одной цепи производства, в основе деятельности которых лежат зеленые технологии. Зеленые технологии предполагают в первую очередь переработку техногенных отходов, а также мероприятия, направленные против загрязнения воды, воздуха, земельных и лесных ресурсов, т.е. они должны применяться во всех сферах промышленного производства [5]. Формирование экологического кластера ведет уже к формированию туристического кластера на особо охраняемых природных территориях (сокращение или прекращение разработки рудных месторождений).

Кроме того, следует отметить, что разработка техногенных месторождений требует внедрения инновационных технологий извлечения из промышленных отходов цветных и редких металлов. Само промышленное производство должно диверсифицироваться, что связано с выпуском новой продукции, интеграцией и образованием вертикальных и горизонтальных хозяйственных связей (экономических кластеров). При этом кроме металлов возможно и получение нерудной продукции — например, строительных материалов, не содержащих повышенные концентрации экологически вредных и токсичных металлов. Поэтому рациональные схемы эксплуатации техногенных месторождений должны разрабатываться на основе определения самого ценного компонента.

Таким образом, с учетом возможности получения существенного экономического и социально-экологического эффектов, масштабная разработка техногенных месторождений и извлечение из них ценных цветных и редких металлов может оказать значительное влияние на социально-экономическое и инновационное развитие горно-промышленных регионов.



Рис. 5. Экономическая оценка ценных металлов в комплексных рудных и угольных месторождениях, а также в их техногенных отходах на прединвестиционном этапе (I), этапе технико-экономического обоснования (II), этапе технико-экономического проектирования (III): критерии выбора направлений использования металлов — приемлемая прибыль от реализации продукции (П), выручка от реализации продукции (В) и затраты по производству продукции (З) на конкретном этапе проекта — $P = B - Z$, с учетом социально-экологического эффекта — $P + \Delta_{\text{соц.-экол.}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аналитика: цветные металлы [Электронный ресурс] // Мировой рынок цветных металлов в поисках нового направления. РЗМ не оправдывают ожиданий URL: <http://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=684>. <http://www.metaltorg.ru/analytics/color/?id=668>. (дата обращения 19.05.2017).
2. Мировой рынок редкоземельных металлов [Электронный ресурс] // Данные ОАО «Соликамский магниевый завод». — URL: <http://www.cmmarket.ru/markets/rawold.html>. (дата обращения 20.08.2013).
3. Орлов, В.П. Минерально-сырьевые ресурсы и геополитика / В.П. Орлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 2. — С. 23–26.
4. Петров, И.М. Российский рынок редких металлов: пути развития / И.М. Петров // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 1. — С. 78–81.
5. Салихов, В.А. Некоторые особенности формирования техногенных и экологических кластеров (на примере Кемеровской области) / В.А. Салихов, Л.Н. Король // Экономика и предпринимательство. — 2017. — № 10 (ч. 2). — С. 271–274.
6. Салихов, В.А. Специфические особенности экономической оценки цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях / В.А. Салихов, О.С. Краснов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 6. — С. 42–46.

7. Салихов, В.А. Экономическая оценка и комплексное использование попутных полезных компонентов углей и золошлаковых отходов углей (на примере Кемеровской области): монография / В.А. Салихов; НФИ КемГУ. — Новосибирск: Изд-во «Наука» СО РАН, 2013. — 224 с.
8. Токарь, О.В. Мировой рынок цинка: проблема дефицита и перспективы развития / О.В. Токарь // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 4. — С. 63–67.
9. Цветные перспективы импортозамещения // Металлургический бюллетень (информационно-аналитический журнал). — URL: <http://www.metbulletin.ru/a/26c> (дата обращения 11.08.2015).
10. Цветные перспективы импортозамещения // Металлургический бюллетень (информационно-аналитический журнал). — URL: <http://www.metbulletin.ru/a/26cf> (дата обращения 11.08.2015).
11. Цены на редкоземельные металлы. Динамика цен // ООО «ТДМ 96» — URL: <http://tdm96.ru> (дата обращения 21.03.2014).
12. Цены мирового рынка на металлы и сырье // Infogeo.ru — URL: www.infogeo.ru (дата обращения 20.11.2018 г.).

© Краснов О.С., Салихов В.А., Король Л.Н.

Краснов Олег Сергеевич // Okrasnov@vnigri.ru
Салихов Валерий Альбертович // Salihov-VA@yandex.ru
Король Леонид Николаевич // korol.lenya@yandex.ru

ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.75

Михайлов Ю.В. (МГРИ-РГГРУ)

О ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ДОБЫЧИ СЛАНЦЕВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Газ и нефть, добытые методом гидроразрыва, содержат огромное количество примесей, которые не только повышают стоимость добычи, но и усложняют процесс дальнейшей обработки. Данная технология наносит колоссальный вред окружающей среде. Опасность представляет не только раствор сам по себе, но и соединения, которые поднимаются из недр земли в результате гидроразрыва, включая огромное количество метана. В местах добычи наблюдается гибель животных, птиц, рыбы, кипящие ручьи с метаном. Ядовитые продукты попадают в питьевую воду и воздух. У людей наблюдаются головные боли, потеря сознания, невропатия, астма, отравления, раковые заболевания и многие другие болезни. Добыча сланцевого газа и нефти способствует массовому загрязнению водных ресурсов и атмосферы, которые распространяются на трансграничные территории. Это может привести к глобальной катастрофе. **Ключевые слова:** гидроразрыв, сланцевые углеводороды (нефть, сланцевый газ), отравление наземных и подземных водных ресурсов (питьевой воды), отравление атмосферы, сейсмическая активность, глобальная катастрофа.

Mikhaylov Yu. V. (MGRI-RGGRU)

ON THE FEASIBILITY OF SHALE HYDROCARBONS

Gas and oil produced by hydraulic fracturing contain a huge amount of impurities, which not only increase the cost of production, but also complicate the process of further processing. This technology causes enormous damage to the environment.

*The danger is not only the solution itself, but also compounds that rise from the bowels of the earth as a result of hydraulic fracturing, including a huge amount of methane. In places of production there is death of animals, birds, fish, boiling streams with methane. Toxic products get into drinking water and air. People have headaches, loss of consciousness, neuropathy, asthma, poisoning, cancer and many other diseases. The production of shale gas and oil contributes to the massive pollution of water resources and the atmosphere, which spread to trans-boundary areas. This could lead to a global catastrophe. **Keywords:** hydraulic fracturing, shale hydrocarbons (oil, shale gas), poisoning of surface and underground water resources.*

Сланцевый газ (shale gas) — это вид топлива, альтернативный природному газу. Добывается он из месторождений с низкой насыщенностью углеводородами, расположенных в сланцевых осадочных породах земной коры, поэтому промышленная добыча возможна только при помощи гидроразрыва (фрекинга).

Такие газ и нефть содержат огромное количество примесей, которые не только повышают стоимость добычи, но и усложняют процесс дальнейшей обработки. То есть сжимать и сжигать сланцевый газ дороже, чем добытый традиционными методами. Сланцевые породы могут содержать от 30 до 70 % метана. Кроме того, сланцевая нефть отличается повышенной взрывоопасностью.

Выгодность разработки месторождений характеризуется показателем EROEI, который указывает, сколько энергии надо затратить, чтобы получить единицу топлива. На заре нефтяной эры в начале XX в. EROEI для нефти составлял 100:1. Это означало, что для добычи ста баррелей нефти надо было сжечь один баррель. К настоящему времени показатель EROEI опустился до значения 18:1.

По всему миру происходит освоение все менее выгодных месторождений. Раньше, если нефть не была