

Д.Р. Каплунов, В.А. Юков**О ВЛИЯНИИ МОЩНОСТИ РУДНИКА
НА РАЦИОНАЛЬНОЕ СООТНОШЕНИЕ
ОТДЕЛЬНЫХ СПОСОБОВ ДОБЫЧИ
ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ГЕОТЕХНОЛОГИИ***

Рассмотрены сочетания физико-технического, физико-химического способов и переработки материалов техногенных образований в комбинированных технологиях. Установлены рациональные сочетания способов добычи в трехкомпонентных комбинированных технологиях. По мощности рудника выделены две области, отличающиеся успешным замещением физико-технического способа добычи нетрадиционными – физико-химическим и переработкой материалов техногенных образований. Ключевые слова: мощность рудника, комбинированные геотехнологии, физико-технический, физико-химический способы, техногенные образования.

Рассматриваются комбинированные геотехнологии, включающие следующие составные части:

- добыча богатой медной руды нисходящей слоевой системой с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями и переработкой добытой руды по обычной схеме: обогащение, металлургический передел, ФТ – физико-технический способ;

- подземное (блоковое) выщелачивание бедной по содержанию руды с отбойкой руд глубокими скважинами, магазинированием и выщелачивание инфильтрационным потоком реагента, с использованием схемы SX-EW (выщелачивание, экстракция, реэкстракция, электролиз), ФХ – физико-химический способ;

- вовлечение в переработку по схеме SX-EW материалов техногенного образования – хвостов обогащения, ТО.

Изучение проводится на примере участка обширного месторождения сульфидных медных руд с запасами 20 млн т со средними условиями

разработки: среднее содержание условной меди в балансовых запасах 0,15%; для выщелачивания геологическое содержание немного превышает бортовое – 0,6%; содержание в хвостах – средневзвешенное по четырем хвостохранилищам уральских комбинатов – 0,12%.

Для определения капитальных затрат и эксплуатационных расходов на добычу, обогащение и последующую переработку использованы данные работ [1–3]. По вариантам применяемых способов отработки они представлены в таблице.

Общий коэффициент извлечения (добыча и две переработки) во всех сопоставляемых вариантах равен: ФТ – 85%; ФХ – 70%; ТО – 73%.

Намечены варианты для длительного действующего предприятия, где уже существуют возможности по организации отработки материалов техногенных образований и их последующей переработки. Оценка их реализуемости выполнена с использованием

* Работа выполнена в рамках базовой тематики ИПКОН РАН «Разработка научно-методических основ устойчивого развития горнотехнических систем на базе установления закономерностей взаимодействия природных и инновационных технологических процессов в условиях интенсивного комплексного освоения недр Земли» (№ гос. регистрации 01201354608).

Исходные данные для оценки вариантов комбинированной технологии

Показатели	Производительность, млн т/год				
	0,5	1,0	2,0	2,5	3,0
Физико-технический способ (ФТ)					
Общие капвложения, млн долл.	78,9	108,5	140,7	160,8	170,7
Общие эксплуатационные расходы, долл./т	59,0	50,3	42,0	40,5	37,9
Физико-химический способ (ФХ)					
Общие капвложения, млн долл.	50,3	69,2	89,7	102,2	108,8
Общие эксплуатационные расходы, долл./т	27,3	23,3	19,5	18,8	17,6
Техногенные образования (ТО)					
Общие капвложения, млн долл.	11,3	15,5	20,1	22,9	24,4
Общие эксплуатационные расходы, долл./т	7,9	6,7	5,6	5,4	5,1

адаптированного метода принятия решений в условиях неопределенности. Под условиями неопределенности понимается колебание исходных данных и показателей. Суть метода состоит в сравнении двух показателей окупаемости инвестиций: минимального (r_m), при котором проект безубыточен, и возможного для данного проекта (r_i).

Для определения случайной переменной, описывающая общую прибыль на начало отработки до выплаты налогов, можно записать следующее уравнение:

$$\begin{aligned} \Pi = & \bar{X}_1 \left[\kappa_{фт} \bar{X}_2 (\bar{X}_3 \bar{X}_5 - \bar{X}_4) + \right. \\ & + \kappa_{фх} K_1 \bar{X}_6 (\bar{X}_2 \bar{X}_5 - \bar{X}_8) + \\ & \left. \kappa_{то} K_2 \bar{X}_9 (\bar{X}_{10} \bar{X}_5 - \bar{X}_{11}) \right] \end{aligned}$$

где $\bar{X}_1$ – годовая производительность по руде, т; $\kappa_{фт}$ – участие физико-химического способа добычи, доли ед.; $\bar{X}_2$ – содержание усл. меди в залежи при физико-техническом способе, доли ед.; $\bar{X}_3$ – общее извлечение при физико-техническом способе, доли ед. $\varepsilon_{фт} = \varepsilon_d \varepsilon_o \varepsilon_{мп}$; $\bar{X}_4$ – общие затраты физико-технического способа $\varepsilon_{фт} = c_d + c_o + c_{мп}$, долл./т; $\bar{X}_5$ – цена условной меди, долл./т; $\kappa_{фх}$ – уча-

стие физико-химического способа добычи, доли ед.; K_1 – коэффициент выравнивания количества извлекаемого металла; $\bar{X}_6$ – содержание в запасах при физико-химическом способе добычи, доли ед.; $\bar{X}_7$ – общее извлечение при физ.-хим. способе доли ед. $\varepsilon_{фх} = \varepsilon_d^1 \varepsilon_o^1 \varepsilon_{мп}^1$; $\bar{X}_8$ – общие затраты физико-химического способа $\varepsilon_{фх} = c_d^1 + c_{о+мп}^1$, долл./т; $\kappa_{то}$ – участие техногенных образований, доли ед.; K_2 – коэффициент выравнивания количества извлекаемого металла; $\bar{X}_9$ – содержание металла в техногенном образовании, доли ед.; $\bar{X}_{10}$ – общее извлечение металла из техногенного образования, $\varepsilon_{то} = \varepsilon_o^{11} \varepsilon_{мп}^{11}$; $\bar{X}_{11}$ – общие затраты вовлечения техноген. образования, $c_{то} = c_d^{11} + c_{о+мп}^{11}$, долл./т.

Отклонения всех учитываемых переменных от средней величины приняты равными 10%. Цена меди принята средней за 10 лет в 6000 долл./т ($\bar{X}_5$).

Оценка выполняется на основе ограниченного набора существенно влияющих внешних (цена продукции, ставка дисконтирования) и внутренних (запасы, содержание, технология переработки) факторов.

В вариантах комбинированных технологий капвложения принимались пропорционально их долевого участи.

Коэффициент выравнивания количества поучаемого металла для подземного блокового выщелачивания – ФХ способ с учетом разницы извлечения $K_1 = 3,03$ т/т, для переработки материалов ТО $K_2 = 6,5$ т/т.

Результаты представлены на рис. 1, 2, 3.

Отметим, что результирующие кривые r_i , описывающие как базовую (ФТ), так и комбинированные (ФТ+ФХ+ТО) на ее основе, технологии располагаются значительно выше кривой безубыточности r_m , что свидетельствует о их высокой эффективности. Во всех используемых диапазонах дисконтирования ($i = 5\%$ – условия действующего предприятия, $i = 10\%$ при разработке проектов, $i = 15\%$ желательный уровень прибыльности, $i = 20\%$ – высокие внутренние риски, $i = 25\%$ – заграничные инвестиции) значения r_m изменяются от 1,6 до 5,05. Чтобы не уменьшать масштаб и сохранить наглядность, они на рисунках не показаны.

Вначале рассмотрим реализуемость изучаемой комбинированной технологии при высоком уровне участия традиционного способа ФТ, рис. 1. Иначе, с какого уровня примерно целесообразно включение в схему двух других способов добычи сырья. На графиках возможные предполагаемые варианты изучаются по отношению к базовому ФТ = 100%, представленному сплошной линией с круглым маркером 1. Наиболее близкий вариант комбинированной технологии ФТ-96+ФХ-1+ТО-3 обозначен сплошной линией с квадратным маркером 4. Их взаимное расположение сохраняется до мощности рудника в 2 млн т/год. Проигрывая при $i = 5\%$ ($7,55 < 7,72$ и $17,88 < 19,19$) комбинированная технология сравнивается с базовой при $i = 10\%$ и далее располагается выше, что означает преимущество данного комбинированного способа над базовым в самом неблагоприятном сочетании.

В тоже время комбинированная технология с обратным порядком участия нетрадиционных способов добычи ФТ-96+ФХ-3+ТО-1 – линия с треугольным маркером 2 располагается значительно выше базовой, что определяет успешность варианта такого сочетания. Равное 2% участие нетрадиционных способов в рассматриваемой комбинации – линия с ромбическим маркером 3 также располагается выше базовой – вариант успешен, но находится ниже линии 2 – наиболее удачного сочетания компонентов в комбинированной технологии.

Однако, при мощности 3 млн т/год линия 4 расположена ниже линии 1. И практически сравнивается с ней при самом высоком индексе дисконтирования $i = 25\%$, где вероятность реализации составляет менее 75%. Вариант не реализуем, поскольку проигрывает базовому.

Остальные комбинации ФТ-96+ФХ-2+ТО-2 – линия с ромбическим маркером 3 (равное участие нетрадиционных способов) и ФТ-96+ФХ-3+ТО-1 линия с треугольным маркером 2 (обратный порядок участия нетрадиционных способов) расположены выше, их применение эффективнее базового варианта.

Рис. 1 демонстрирует две области по мощности рудника. Первая от 0,5 до 2,0 млн т/год, где наиболее близкий к базовому вариант ФТ-96+ФХ-1+ТО-3 сравнивается с базовым при $i = 10\%$ и далее превосходит его. Вторая, 2,5–3,0 млн т/год, где этот же вариант проигрывает базовому. Известно, что с увеличением мощности предприятия снижаются его стоимостные показатели. В данном случае (ФТ-96+ФХ-1+ТО-3) при большей мощности низкие показатели ФХ и ТО способов и их такое соотношение не перекрывают относительное снижение как эксплуатационных расходов, так капитальных затрат базового варианта.

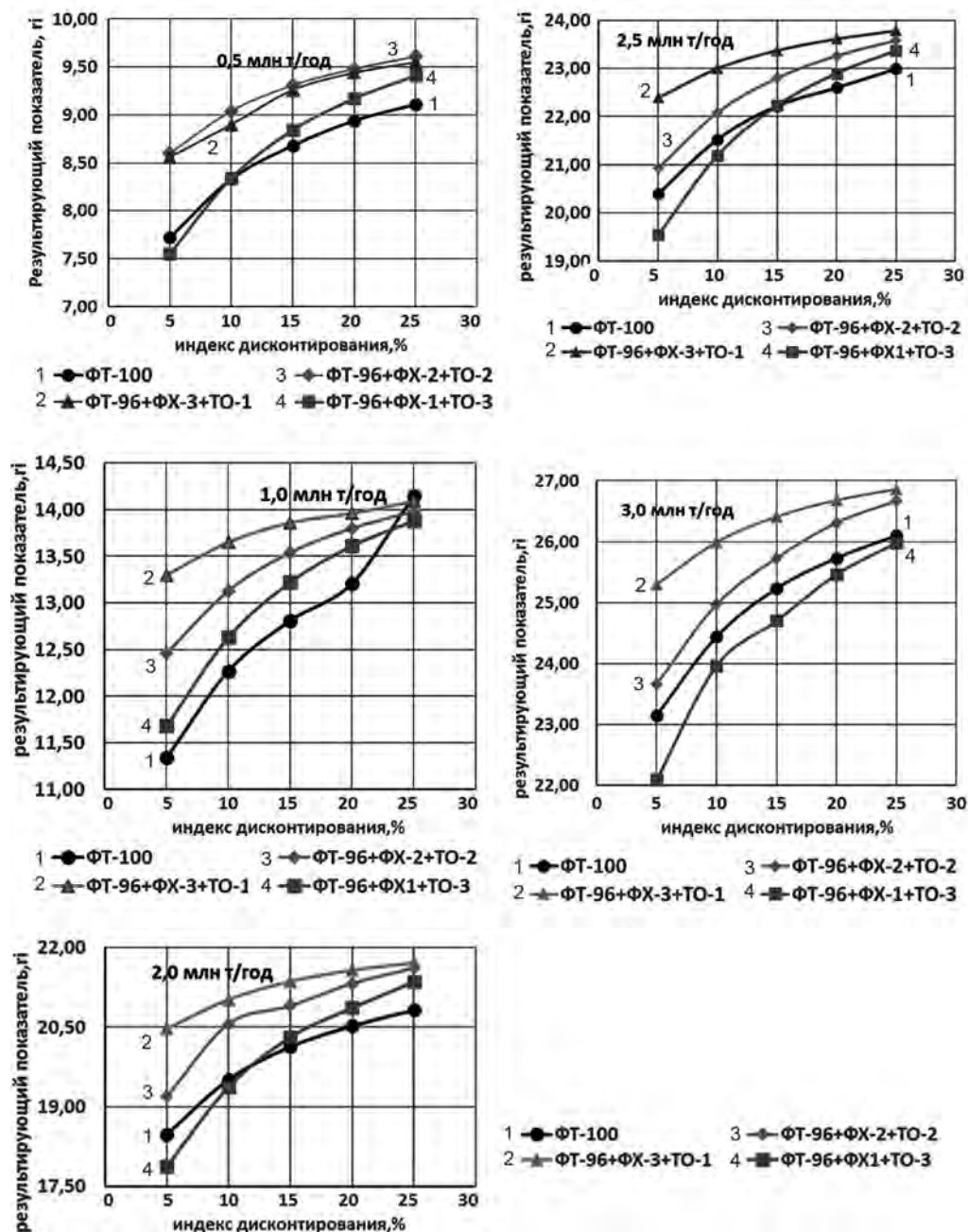


Рис. 1. Реализуемость вариантов комбинированной технологии ФТ+ФХ+ТО для рудников разной мощности при высоком участии ФТ: i – норма дисконта; r_m – граница безубыточности; r_i – показатель окупаемости инвестиций по вариантам отработки: ФТ – физико-техническая технология в %; ФХ – физико-химическая в %, ТО – вовлечение материалов техногенных образований в %

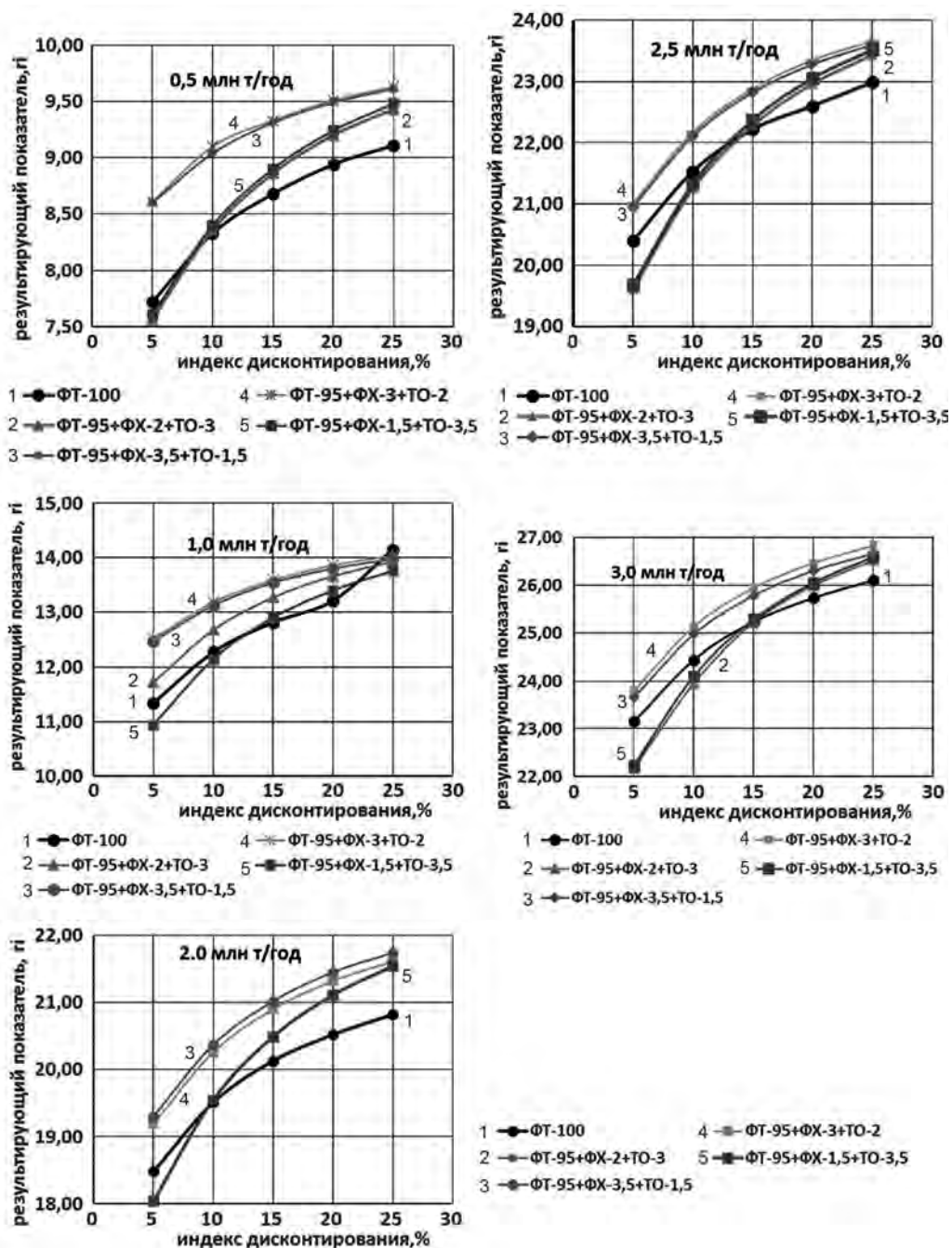


Рис. 2. Реализуемость вариантов комбинированной технологии ФТ+ФХ+ТО для рудников разной мощности при высоком участии ФТ: i – норма дисконта; r_m – граница безубыточности; r_1 – показатель окупаемости инвестиций по вариантам отработки: ФТ – физико-техническая технология в %, ФХ – физико-химическая в %, ТО – вовлечение материалов техногенных образований в %.

Аналогичную картину наблюдаем на рис. 2, где участие традиционного способа ФТ снижено до 95%, а оставшиеся 5% предоставлены нетрадиционным способам. Наихудшим оказывается сочетание ФТ-95+ФХ-1,5+ТО-3,5, тогда как обратный порядок ФХ и ТО – 3,5+1,5 вполне успешен. Оправдано также и два других доле-вых участия ФХ и ТО: 2+3 и 3+2 в общей комбинации.

Здесь также возможно выделение двух областей по мощности рудника. Одна малой и средней мощности от 0,5 до 2,0 млн т/год. И график при мощности в 1,0 млн т/год подтверждает проигрыш базовому наименее удачного варианта комбинированной технологии ФТ-95+ФХ-1,5+ТО-3,5 при $i = 5\%$, равенство при $i = 10\%$ и превосходство в остальном диапазоне i до 25%. Вторая при большей мощности 2,5–3,0 млн т/год, где наихудшее сочетание способов комбинированной технологии ФТ-95+ФХ-1,5+ТО-3,5 в основном проигрывает базовому (первые три диапазона i). Увеличение доли ФТ способа в комбинированной технологии до 96%, всего на 1%, переводит подобное сочетание в проигрышный, нереализуемый вариант, рис. 1.

Итак, использование трехкомпонентной комбинированной технологии оправдано, начиная с нескольких процентов участия ФХ и ТО (2+2; 3+2 и 3,5+1,5), причем доля ФХ должна превалировать над долей ТО.

Выделяются две области по мощности рудника, где применение комбинированной технологии похоже, но не одинаково. Наихудший вариант сочетания компонентов комбинированной технологии еще может рассматриваться как конкурентоспособный в области меньших значений мощности (до 2 млн т /год), но превращается в проигрышный в области больших значений мощности рудника.

Далее рассматриваются рациональные варианты комбинированной технологии при постоянном, ограниченном 5%, участии одного способа – переработки материалов техногенного образования.

На рис. 3 линией с квадратным маркером 2 выделен минимально положительный вариант во всех рассмотренных диапазонах мощности. Его результирующий показатель r_i практически совпадает с базовым при индексе дисконтирования $i = 5\%$. Конкретные показатели таковы: для $A_r = 0,5$ $r_i = 7,79 \approx r_6 = 7,72$; для $A_r = 1,0$ $r_i = 11,32 \approx r_6 = 11,34$; для $A_r = 2,0$ $r_i = 18,40 \approx r_6 = 18,48$; для $A_r = 2,5$ $r_i = 20,50 \approx r_6 = 20,40$; для $A_r = 3,0$ $r_i = 23,05 \approx r_6 = 23,15$.

В целом пять диапазонов мощности рудника можно разделить на две области: от 0,5 до 2,0 и от 2,5 до 3,0 млн т/год. В первой минимально положительный вариант трехкомпонентной комбинированной технологии практически совпадает с базовым при участии ФТ способа в 55%, ФХ способа в 40% – ФТ-55+ФХ-40+ТО-5. Во второй, при большей мощности рудника, наиболее близким становится вариант ФТ-50+ФХ-45+ТО-5. Превышение небольшое, но ощутимое.

Исключение составляет вариант с мощностью в 1 млн т/год. Здесь совпадение с базовым достигается раньше, при ФТ-70+ФХ-25+ТО-5, при участии ФХ способа в 25%. Именно это обстоятельство послужило основанием для ввода дополнительного диапазона мощности в 2,5 млн т/год, что и позволило выделить две области.

В обеих областях с возрастанием участия ФХ способа при соответствующем снижении ФТ способа и фиксированной доле ТО трехкомпонентная комбинированная технология – линия с ромбическим маркером 4 располагается выше базовой и выше линии минимально положительного варианта,

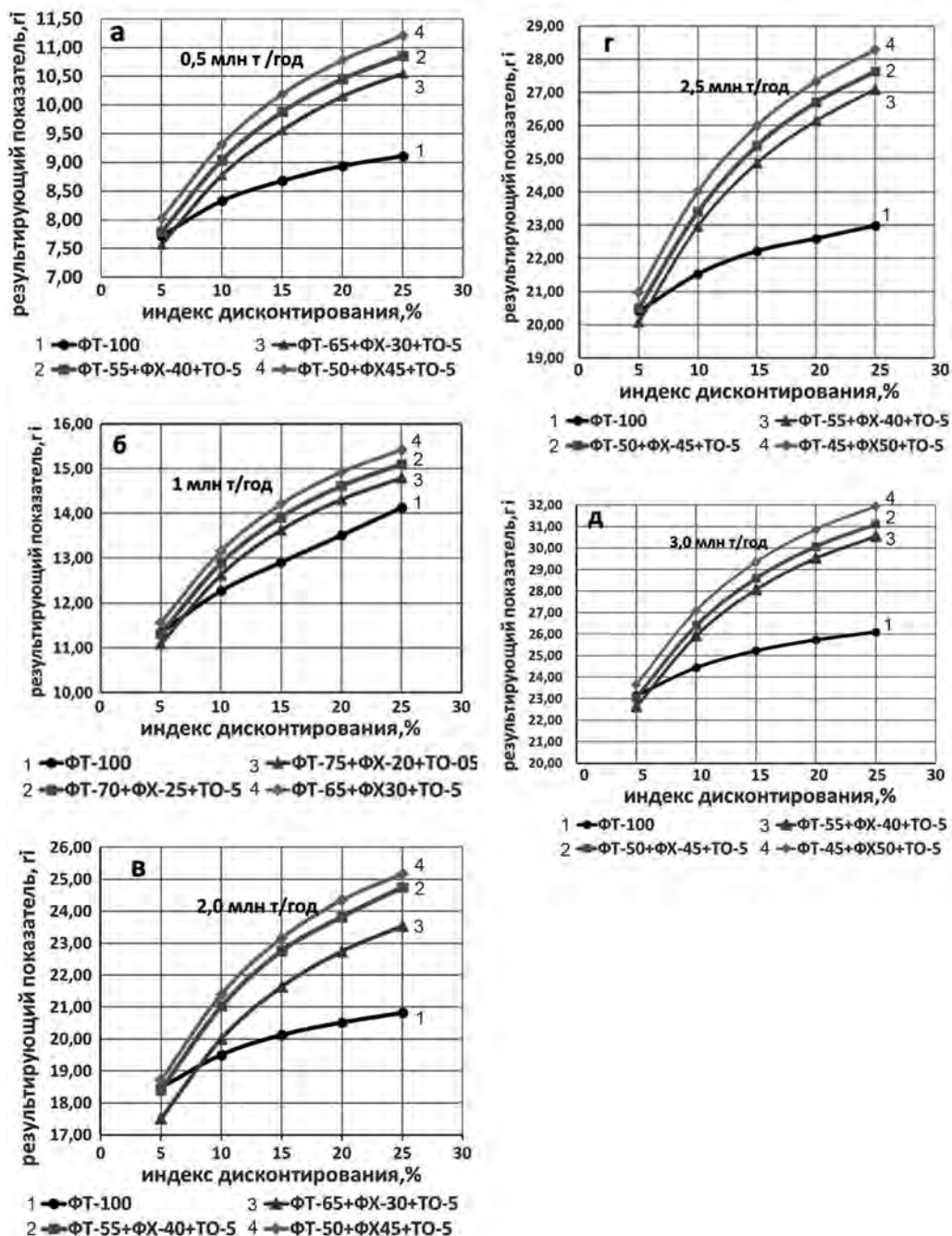


Рис. 3. Реализуемость вариантов комбинированной технологии ФТ+ФХ+ТО для разной мощности рудника при ограниченном объеме ТО: i – норма дисконта; r_m – граница безубыточности; r_i – показатель окупаемости инвестиций по вариантам отработки: ФТ – физико-техническая технология в %; ФХ – физико-химическая в %, ТО – вовлечение материалов техногенных образований в %

т.е. эффективность возрастает. При постоянной доле ТО в 5% снижение участия ФХ способа и соответственно ростом ФТ способа трехкомпонентная комбинированная технология – линия с треугольным маркером 3 располагается ниже базовой, эффективность падает.

Но это относится лишь к норме дисконта в 5%. При $i = 10\%$ и более синяя линия с треугольным маркером находится выше базовой, что показывает возможность реализации варианта. Напомним, что показатель дисконтирования в 10% – начальный при разработке проектов.

В обеих областях по сути происходит замещение дорогого ФТ способа на более дешевый ФХ. В первой области равенство результатов с замещаемым достигается при 40%, во второй – при 45%. Это свидетельствует, что при большей мощности рудника стоимость добычи относительно дешевле. Поскольку расчеты выполнены по дан-

ным таблицы и проведены по одной и той же методике можно предположить, что соотношение стоимостных показателей для ФТ и ФХ способов при мощности в 1 млн т/год оказалось наиболее удачным (наилучшим).

Таким образом, применение трехкомпонентной комбинированной технологии оправдано, начиная с нескольких процентов участия физико-химического способа (ФХ) и переработки материалов техногенного образования (ТО) при равном или преобладающем участии физико-химического способа.

В области высокой мощности рудника, более 2,5 млн т/год, успешное замещение физико-технического способа в комбинированной трехкомпонентной технологии нетрадиционными (физико-химическим и переработкой материалов техногенного образования) происходит при более высоком их долевым участии по сравнению с областью меньших значений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Оценка области эффективного применения систем подземной разработки меднорудных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2014. – № 7. – С. 3–9.

2. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Об области применения комбинированных технологий

подземной разработки медных месторождений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015. – № 5. – С. 5–12.

3. Ашихмин А.А., Галбаатар Г., Дмитриев А.А., Ясько Т.А. Экономика, организация и управление горными предприятиями цветной металлургии. – М.: Изд-во МГТУ, 2004. – 46 с. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Каплунов Давид Родионович – чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник,

Юков Владимир Александрович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, e-mail: info@ipkonran.ru.

UDC 622.275

MINE PRODUCTION RATE INFLUENCE ON THE RATIONAL RATIO OF THE INDIVIDUAL METHODS OF MINING WITH COMBINED GEOTECHNOLOGY

Kaplunov D.R.¹, Corresponding Member of Russian Academy of Sciences, Chief Researcher, Jukov V.A.¹, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,

¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, e-mail: info@ipkonran.ru.

A combination of physico-technical, physico-chemical methods and manmade materials processing with the combined technologies are considered. Rational combination of mining methods with three-component combined technologies are established. Two fields of production rate of mine characterized of successful

replacement of physico-technical method with untraditional – physico-chemical and processing of manmade materials are obtained.

Key words: Mine production rate, combined geotechnology, physico-technical, physico-chemical, man-made materials.

ACKNOWLEDGEMENTS

This work has been carried out in the framework of the baseline question area “Development of theoretical and procedural foundation for the sustained expansion of mine-technical systems based on revealed mechanisms of interaction between natural and innovative technological processes under conditions of rapid comprehensive exploitation of the Earth’s interior,” state registration no. 01201354608, IPKON RAS.

REFERENCES

1. Kaplunov D.R., Yukov V.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2014, no 7, pp. 3–9.
2. Kaplunov D.R., Yukov V.A. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2015, no 5, pp. 5–12.
3. Ashikhmin A.A., Galbaatar G., Dmitriev A.A., Yas'ko T.A. *Ekonomika, organizatsiya i upravlenie gornymi predpriyatiyami tsvetnoi metallurgii* (Economy, organization and management in nonferrous metals industry), Moscow, Izd-vo MGGU, 2004, 46 p.



ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ОСВОЕНИЕ ГЕОРЕСУРСОВ В АЗИАТСКО-ТИХООКЕАНСКОМ РЕГИОНЕ

Андреев Андрей Владимирович¹, к.т.н., доцент, e-mail: aandreevmining@mail.ru; Белов Алексей Викторович¹, к.т.н., доцент, e-mail: poraen@mail.ru; Видоменко Вадим Валерьевич¹, аспирант; Голосов Андрей Михайлович¹, аспирант, e-mail: a-dune@mail.ru; Гребенюк Игорь Владимирович¹, аспирант, e-mail: dsi_fentu@mail.ru; Жуков Анатолий Васильевич¹, д.т.н., профессор, e-mail: yul25juk@mail.ru; Жукова Юлия Анатольевна¹, зав. лабораторией, e-mail: yul25juk@mail.ru; Каулин Михаил Иванович¹, к.т.н., доцент; Ксензенко Людмила Степановна¹, к.т.н., доцент; Лушпей Валерий Петрович¹, д.т.н., профессор, e-mail: lvp-2012@mail.ru; Макаров Владимир Владимирович¹, д.т.н., профессор, e-mail: vlmvv@mail.ru; Макишин Валерий Николаевич¹, д.т.н., профессор, зав. кафедрой, e-mail: interrex@mail.ru; Маликов Алексей Сергеевич¹, аспирант, e-mail: malikov_aleksei@mail.ru; Миробян Анастасия Александровна¹, аспирант; Михалков Антон Владимирович¹, аспирант, e-mail: veelon@mail.ru; Николайчук Николай Артемович¹, к.т.н., доцент, e-mail: tmpr48@mail.ru; Обжиров Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, зав. лабораторией, Тихоокеанский океанологический институт ДВО РАН, e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru; Опанасюк Николай Александрович¹, ассистент, e-mail: neksan1@mail.ru; Умаров Максим Сергеевич¹, аспирант, e-mail: maksim_umarov@mail.ru; Хрулев Евгений Александрович¹, ассистент;

¹ Дальневосточный федеральный университет.

В сборнике представлены результаты научных исследований по проблемам освоения георесурсов Российской Федерации Дальнего Востока и Азиатско-Тихоокеанском регионе. Представленные научные работы основаны на комплексном научном подходе к таким вопросам, как использование подземных пространств мегаполисов, внедрение новых и новейших безотходных технологий добычи, переработки и обогащения полезных ископаемых в условиях Азиатско-Тихоокеанского региона, основанных на принципах полноты и комплексности освоения георесурсов, обеспечения сейсмо- и ударобезопасности, а также других актуальных вопросов в этой области.

Ключевые слова: Азиатско-Тихоокеанский регион, подземные пространства мегаполисов, полезные ископаемые, георесурсы, сейсмо-, ударобезопасность.

DEVELOPMENT FOR GEORESOURCES IN THE ASIA-PACIFIC REGION

Andreev A.V.¹, e-mail: aandreevmining@mail.ru, Belov A.V.¹, e-mail: poraen@mail.ru, Vidomenko V.V.¹, Golosov A.M.¹, Grebeniuk I.V.¹, Zhukov A.V.¹, Zhukova Y.A.¹, Kaulin M.I.¹, Ksendzenko L.S.¹, Luspey V.P.¹, Makarov V.V.¹, Makishin V.N.¹, Malikov A.S.¹, Mirobyan A.A.¹, Mihalkov A.V.¹, Nikolaichuk N.A.¹, Obzhirov A.I.², e-mail: obzhirov@poi.dvo.ru, Opanasiuk N.A.¹, Umarov M.S.¹, Hrulev E.A.¹, ¹ Far Eastern Federal University, ² Pacific Oceanological Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Science.

There are presented the results of scientific research on the problems of development for georesources of the Russian Far East and the Asia-Pacific region. The research is based on a holistic scientific approach to issues such as the use of underground spaces of mega-cities, the introduction of new and emerging waste-free production technologies, processing and dressing mineral resources in Asia-Pacific based on the completeness and complexity of development for georesources, ensure the seismic and shock safety i, as well as other relevant issues in this field.

Key words: Asia Pacific, underground space of cities, minerals, geo-resources, seismic, udarobezopasnost.