

УДК 338.45

ББК 65.9 (2р) 304.12+65.9 (2р) 23

Г 908

**Г 908 Групповая разработка малых золоторудных месторождений**

Н.Ю. Самсонов, М.А. Ягольницер / науч. ред. В.А. Крюков  
– Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2012. – 240 с.

ISBN 978-5-89665-246-5

В монографии изложена концепция технико-экономического моделирования совместной разработки групп территориально ассоциированных малых и средних золоторудных месторождений с целью достижения повышенной экономической рентабельности их эксплуатации. В модельных расчетах варьировались золоторудные запасы разных месторождений, их золотосодержание, технологии обогащения руд и извлечения из них золота, расстояния между месторождениями и технологическими центрами обогащения и извлечения золота.

Авторами проведено аналитическое исследование современного состояния минерально-сырьевой базы рудного золота применительно к золотосырым территориям Западной Сибири, Якутии и Дальнего Востока. Рассмотрены институциональные ограничения и возможности по реализации обсуждаемого методического подхода, проведено технико-экономическое моделирование совместной (групповой) разработки нескольких конкретных малых/средних месторождений Сибири и Дальнего Востока, разработаны программные модули проведения стоимостной оценки групповых проектов разработки месторождений, проведены сравнительные экономические оценки для нескольких сгруппированных месторождений.

Книга предназначена для руководителей, специалистов инвестиционного, стратегического и экономического планирования золотодобывающих предприятий, а также экономистов и студентов экономических факультетов вузов.

Программа VIII.76.2 «Теоретические и прикладные исследования стратегического развития микро- и мезосистем в социально-экономическом пространстве»

Проект «Теоретические и методические вопросы стратегического развития мезоэкономических систем»

Тема «Инновационные и институциональные пространства стратегического развития горнодобывающих комплексов Сибири и Дальнего Востока»

УДК 338.45

ББК 65.9 (2р) 304.12+65.9 (2р) 23

Г 908

ISBN 978-5-89665-246-5

© ИЭОПП СО РАН, 2012

© Самсонов Н.Ю., 2012

© Ягольницер М.А., 2012

Полная электронная копия издания расположена по адресу:

[http://lib.ieie.su/docs/2012/SamsonovYagolnitscr2012Grupповaya\\_razrabotka\\_malykh\\_zolotorudnih\\_mestorozhdenij.pdf](http://lib.ieie.su/docs/2012/SamsonovYagolnitscr2012Grupповaya_razrabotka_malykh_zolotorudnih_mestorozhdenij.pdf)

## Глава III

# ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ГРУППОВОЙ РАЗРАБОТКИ МАЛЫХ (И СРЕДНИХ) МЕСТОРОЖДЕНИЙ РУДНОГО ЗОЛОТА

### 3.1 Технико-экономическое моделирование процесса групповой разработки малых (и средних) месторождений рудного золота в зависимости от геолого-промышленных характеристик месторождений и существующих экономических условий

Одна из задач экономической оценки месторождений – нахождение (моделирование) оптимального варианта разработки объектов полезных ископаемых. Это предполагает формирование некоторого числа альтернативных вариантов, а также определенного критерия для сопоставления вариантов. Использование методов экономико-математического моделирования представляется в виде модели некой рассматриваемой системы, в которой взаимосвязаны те или иные свойства месторождений, в нашем случае – запасы руды, удельное и полное количество золота, геологические, природные, технологические и экономические параметры. Экономическая оценка может производиться по *базовому* варианту (без учета налогов, отчислений и платежей) и *коммерческому* варианту (с учетом последних) [79].

Авторами разработаны экономико-математические модели групповой эксплуатации близкорасположенных золоторудных месторождений на едином обогатительном комплексе в зависимости от вариации параметров «расстояние  $L$ » и «содержание золота  $Z$ » с изменяемыми (или заданными) уровнями рентабельности. Модели дают представление о том, каково должно быть содержание золота какого-либо месторождения в зависимости от дистанции транспортировки руды до ЗИФ, чтобы обеспечивать заданный уровень рентабельности (модель  $Z(L)$ ). Конечно, в общем виде модель рассматривает и обратные варианты (модели), когда требуется оценить, например, необходимое золотосодержание в руде для достижения того или иного уровня рентабельности при нескольких заданных расстояниях перевозки руды (модель  $Z(R)$ ). Таким же образом решается задача о связи между рентабельно-

стью и дальностью транспортировки руды при заданных содержаниях золота (модель  $R(L)$ ). Фактически решение этих модельно-производственных задач решает и задачу обоснования методики лицензирования, поставленную в Главе 2 (разделы 2.1 и 2.2), – включение близкорасположенных участков недр в единую лицензию для совместной эксплуатации.

Моделирование проведено на основе технико-экономических данных золотодобывающего проекта, реализуемого с 2005 г. в Сибири и подходящего по условию осуществления транспортировки руды от места выемки (карьера месторождения) до золотоизвлекательной фабрики. За основу расчета принимаются технико-экономические показатели и планово-расчетная калькуляция (на 2005 г.) разработки среднего по запасам золота (на 01.01.05 – 30,5 т) месторождения Эльдorado (ООО «Соврудник», Красноярский край; табл. П.8). Разработка ведется открытым способом, с транспортировкой сепарированной обогащенной руды на ЗИФ Советская (расстояние в одну сторону – 64 км) и переработкой забалансовой разубоженной руды с содержанием ниже кондиционного и хвостов сепарации на комплексе кучного выщелачивания (ККВ), размещенного на месте разработки месторождения. Также в последующих модельных расчетах (для условий 2009 г.) учитываются сведения об инфляции в РФ в 2005–2010 гг. (табл. П.9) и среднегодовые мировые цены на золото в 2009–2010 гг. (табл. П.10, П.11, П.12).

Ставится следующая задача: оценить влияние расстояния от места выемки руды (карьер, рудник) до места размещения перерабатывающего центра кустового типа на рентабельность золотодобычи какого-либо проекта групповой разработки месторождений в зависимости от качества руды – содержания золота  $Z$ . В частности, будет рассмотрена задача о том, как дальность (дистанция, расстояние) транспортировки руды ( $L$ ) предопределяет величину минимального промышленного содержания золота ( $Z$ ) на месторождениях (включаемых в добычной групповой проект), обеспечивающей заданный уровень рентабельности ( $R$ ) производства золота на ЗИФ. Назовем эти изменяемые параметры «управляющими».

В табл. 22, подготовленной с помощью MS Excel, внесены данные из табл. П.8, они выделены серой заливкой (показатели  $a$ – $c$ ), и рассчитаны дополнительные количественные параметры (средняя цена реализации, среднее извлечение золота и др.), необходимые для решения задачи.



$m_{ЗИФ}$	Среднее извлекаемое содержание золота из руды ЗИФ (г/т)	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68
$m_{КВ}$	Среднее извлекаемое содержание золота из руды КВ (г/т)	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27
$n_{ЗИФ}$	Пересчетный коэффициент «Руда–ЗИФ/Руда–карьер»	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
$n_{КВ}$	Пересчетный коэффициент «Руда–КВ/Руда–карьер»	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52	0,52
$o_{ЗИФ}$	Полные удельные затраты на 1 г золота ЗИФ (руб./г)	276,3	257,1	296,6	373,0	347,1	400,4
$o_{КВ}$	Полные удельные затраты на 1 г золота КВ (руб./г)	318,5	318,5	318,5	430,0	430,0	430,0
$u_{ЗИФ}$	Совокупные годовые расходы на ЗИФ (тыс. руб.)	262235	244054	281553	354018	329473	380097
$u_{КВ}$	Совокупные годовые расходы на КВ (тыс. руб.)	99640	99640	99640	134514	134514	134514
$q$	Суммарные годовые расходы (тыс. руб.)	361876	343694	381193	488532	463987	514611
$R$	Индекс рентабельности «Годовая стоимость/годовые затраты»	1,26	1,32	1,19	2,32	2,45	2,21
$R\%$	Рентабельность «Доход/затраты» (%)	26	32	19	132	145	121
$t$	Полные удельные затраты (по себестоимости), (руб./г)	286,7	272,3	302,0	387,1	367,6	407,8
$j$	Средняя цена реализации золота (руб./г)	360	360	360	900	900	900
$Rv$	Индекс рентабельности (по себестоимости)	1,26	1,32	1,19	2,33	2,45	2,21
$Rv_{ЗИФ}$	Индекс рентабельности добычи золота на ЗИФ	1,30	1,40	1,21	2,41	2,59	2,25
$Rv_{КВ}$	Индекс рентабельности добычи золота на КВ	1,13	1,13	1,13	2,09	2,09	2,09
$f$	Доля транспортных расходов в себестоимости (%)	16,7	10,6	22,6	16,7	10,6	22,6
$f_{ЗИФ}$	Доля транспортных расходов в себестоимости ЗИФ (%)	17,3	11,2	23,0	17,3	11,2	23,0
<b>КОММЕРЧЕСКИЙ ВАРИАНТ</b>							
$R_{НДПИ}$	Рентабельность с учетом НДС	18,0	24,3	12,0	118,6	130,1	107,5
$R_{НДПИ+НП}$	Рентабельность с НДС и налогом на прибыль	14,4	19,4	9,6	94,8	104,1	86,0

Источник: Рабочий проект развития горных работ по добыче рудного золота открытым способом на месторождении Эльдorado (гор. 700–590 м). Т.1. Общая пояснительная записка. ООО «Соврудник». – Северо-Енисейский. – 2003 г.

Исходными данными для всех вариантов расчетов являются данные столбца *C*, отражающие реальные технико-экономические параметры разработки месторождения Эльдорадо на 2005 г. Остальные столбцы содержат различные задаваемые имитационные расчеты. Содержательное обозначение и интерпретация параметров (табличных строк) показано ниже:

*a*–*c* (серая заливка) – заданные исходные значения (параметры) в соответствии с табл. П.8;

$m_{\text{ЗИФ}}$ ,  $m_{\text{КВ}}$  – технологически извлекаемые содержания золота (г/т) в рудах для ЗИФ и КВ, соответственно, рассчитанные по исходным параметрам:

$$m_{\text{ЗИФ}} = \frac{h_{\text{ЗИФ}}}{k_{\text{ЗИФ}}} \quad (1)$$

$$m_{\text{КВ}} = \frac{h_{\text{КВ}}}{k_{\text{КВ}}} \quad (2)$$

$n_{\text{ЗИФ}}$ ,  $n_{\text{КВ}}$  – пересчетные коэффициенты, характеризующие эффективность сепарации карьерной руды, приводящей к повышению золотосодержания в руде, отправляемой на ЗИФ и, соответственно, к понижению содержания для КВ:

$$n_{\text{ЗИФ}} = \frac{m_{\text{ЗИФ}}}{Z} \quad (3)$$

$$n_{\text{КВ}} = \frac{m_{\text{КВ}}}{Z} \quad (4)$$

$o_{\text{ЗИФ}}$  – полные удельные затраты на производство 1 г золота на ЗИФ (себестоимость золота ЗИФ), рассчитываемые как суммарные затраты на добычу (*a*), транспортировку (*L·b*), дробление/сепарацию (*d*) и переработку 1 т руды на ЗИФ (*e*), нормированные на количество содержащегося в ЗИФ-руде золота ( $n_{\text{ЗИФ}} \cdot Z$ ), плюс расходы на конечное извлечение 1 г золота ( $g_{\text{ЗИФ}}$ ):

$$o_{\text{ЗИФ}} = \frac{a + L \cdot b + d + e}{n_{\text{ЗИФ}} \cdot Z} + g_{\text{ЗИФ}} \quad (5)$$

$o_{\text{КВ}}$  – полные удельные затраты на производство 1 г золота на КВ (себестоимость золота КВ), рассчитываемые как отношение

суммарных затрат на добычу ( $a$ ) и дробление/сепарацию ( $d$ ) 1 т руды к количеству содержащегося в КВ-руде золота, плюс расходы на конечное извлечение 1 г золота ( $g_{KB}$ ):

$$o_{KB} = \frac{a + d}{n_{KB} \cdot Z} + g_{KB} \quad (6)$$

–  $U_{ЗИФ}$ ,  $U_{KB}$  – совокупные годовые расходы на ЗИФ и КВ:

$$U_{ЗИФ} = o_{ЗИФ} \cdot h_{ЗИФ} \quad (7)$$

$$U_{KB} = o_{KB} \cdot h_{KB} \quad (8)$$

$q$  – суммарные годовые расходы разработки месторождения (для ЗИФ и КВ), рассчитываемые как сумма  $U_{ЗИФ}$  и  $U_{KB}$ .

$R$  – индекс рентабельности ( $BCR$ , benefits-costs-ratio), исчисляемый либо как отношение годовой стоимости продукции ( $i$ ) к годовым затратам ( $q$ ) или отношение стоимости единицы продукции к затратам на её производство.

$R\%$  – средняя рентабельность (%), исчисляемая из индекса рентабельности  $R$  по формуле:

$$R\% = \frac{i - q}{q} \cdot 100\% = (R - 1) \cdot 100\% \quad (9)$$

Использовать индекс рентабельности  $R$  более удобно при математических расчетах, поскольку получаются более простые формулы и соотношения. При графических построениях величины  $R$  и  $R\%$  будут использоваться на равных основаниях, в зависимости от ситуации.

$t$  – средневзвешенные удельные затраты (средневзвешенная себестоимость 1 г) с учетом относительных долей обоих методов получения золота (ЗИФ и КВ):

$$t = \frac{o_{ЗИФ} \cdot Z \cdot n_{ЗИФ} \cdot k_{ЗИФ}}{Z \cdot n_{ЗИФ} \cdot k_{ЗИФ} + Z \cdot n_{KB} \cdot k_{KB}} + \frac{o_{KB} \cdot Z \cdot n_{KB} \cdot k_{KB}}{Z \cdot n_{ЗИФ} \cdot k_{ЗИФ} + Z \cdot n_{KB} \cdot k_{KB}} \quad (10)$$

$j$  – цена реализации золота, задаваемая как внешне задаваемый параметр, а не как калькуляционная цена реализации ( $p$ ).

$Rv$  – индекс рентабельности, рассчитываемый как отношение  $j$  к  $t$  ( $Rv$  может совпадать или не совпадать с  $R$ , в зависимости от  $j$  и  $p$ ).

$Rv_{ЗИФ}$ ,  $Rv_{КВ}$  – индексы рентабельности производства золота на ЗИФ и на КВ, исчисляемые как отношение  $j$  к  $o_{ЗИФ}$  и  $j$  к  $o_{КВ}$ .

$f$  – доля транспортных расходов (%) в полной себестоимости разработки месторождения, рассчитываемая как отношение транспортных расходов ( $L \cdot b$ ) к средневзвешенной себестоимости ( $t$ ), с учетом золотосодержания в перевозимой руде:

$$f = 100 \cdot \frac{L \cdot b}{t \cdot Z \cdot n_{ЗИФ}} \quad (11)$$

$f_{ЗИФ}$  – доля транспортных расходов в себестоимости производства золота на ЗИФ, рассчитываемая как отношение нормированных на золотосодержание транспортных расходов к удельной себестоимости на ЗИФ:

$$f_{ЗИФ} = 100 \cdot \frac{L \cdot b}{o_{ЗИФ} \cdot Z \cdot n_{ЗИФ}} \quad (12)$$

Индекс рентабельности  $R$  получен, исходя из продажной стоимости золота, которая, в свою очередь, рассчитывалась по реальным технико-экономическим данным (табл. П.8). Аналогичный индекс  $Rv$  рассчитан, когда продажная цена (360 руб./г) задавалась не как конкретная цена реализации в 2005 г., а как внешний параметр ( $j$ ). Вводить цену золота как внешний задаваемый параметр удобно, во-первых, из-за особенностей работы с электронной таблицей Excel, во-вторых, это позволяет измерять при проведении имитационных расчетов для изменившейся ценовой конъюнктуры, как та или иная вводимая цена золота (900 руб./г для 2009 г.) влияет на уровни рентабельности (табл. 22, столбцы  $H, I, J$ ).

В табл. 22 приведены значения рентабельности как для исходной дистанции транспортировки руды  $L$  (64 км, столбец  $C$ ) и удельной стоимости перевозки  $b$  (2 руб./т·км), так и для других расстояний (32 км и 96 км, столбцы  $D$  и  $E$ ). При этом учитывается, что удельная стоимость перевозки руды ( $b$ ) будет возрастать при уменьшении дистанции  $L$  (в этом случае увеличивается относительный вклад расходов на погрузку и разгрузку руды и на прочие операции, не связанные с расстоянием), но  $b$  будет снижаться при увеличении транспортного плеча. Значительное изменение расстояния от исходных 64 км как в сторону уменьшения (32 км),



так и в сторону увеличения (96 км) изменяет рентабельность незначительно – примерно на 6% в том или ином случае. Такие относительно небольшие вариации рентабельности обусловлены, во-первых, коррелированными с расстояниями удельными ценами перевозок (это частично демпфирует расходы на увеличение или на уменьшение дистанции); во-вторых, удельная доля транспортных расходов в общей себестоимости добычи золота относительно невелика – от 11% до 23% для разных вариантов. Это также микширует зависимость уровня рентабельности от расстояния транспортировки руды.

Таким образом, модельные расчеты позволяют оценить количественно вариации рентабельности для разных дистанций перевозок и при изменении содержания золота в руде. Точнее говоря, можно оценить величину  $Z$ , которая позволяет сохранить заданный уровень рентабельности  $R\%$  (или индекса  $R$ ) при тех или иных изменениях расстояния  $L$  (но согласованно с разными удельными стоимостями транспортировки руды  $b$ ). Математическую зависимость золотосодержания  $Z(R)$  от заданного индекса рентабельности  $R$  (для нескольких значений дистанций  $L$ ) или же зависимость  $Z(L)$  от расстояния транспортировки руды (при нескольких величинах индекса рентабельности  $R$ ) или зависимость  $R(L)$  от  $L$  (при нескольких значениях  $Z$ ) можно выразить в виде следующих формул:

$$Z(R) = \frac{\alpha}{\frac{1}{R} - \beta} \quad (13)$$

$$Z(L) = \frac{\chi + \varphi \cdot L}{\frac{1}{R} - \beta} \quad (14)$$

$$R(L) = \frac{Z}{\beta \cdot Z + \chi + \varphi \cdot L} \quad (15)$$

Формальные параметры  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\chi$  и  $\varphi$  выражаются в следующем виде:

$$\alpha = \frac{(a + L \cdot b + d + e) \cdot k_{зиф} + (a + d) \cdot k_{кв}}{j \cdot (n_{зиф} \cdot k_{зиф} + n_{кв} \cdot k_{кв})} \quad (16)$$

$$\beta = \frac{g_{зиф} \cdot n_{зиф} \cdot k_{зиф} + g_{кв} \cdot n_{кв} \cdot k_{кв}}{j \cdot (n_{зиф} \cdot k_{зиф} + n_{кв} \cdot k_{кв})} \quad (17)$$

$$\chi = \frac{(a + d + e) \cdot k_{\text{ЗИФ}} + (a + d) \cdot k_{\text{КВ}}}{j \cdot (n_{\text{ЗИФ}} \cdot k_{\text{ЗИФ}} + n_{\text{КВ}} \cdot k_{\text{КВ}})} \quad (18)$$

$$\varphi = \frac{b \cdot k_{\text{ЗИФ}}}{j \cdot (n_{\text{ЗИФ}} \cdot k_{\text{ЗИФ}} + n_{\text{КВ}} \cdot k_{\text{КВ}})} \quad (19)$$

Экономический смысл моделирования заключается в создании уравнений, в которых через рентабельность ( $R$ ) взаимосвязаны экономико-технологические параметры разработки месторождений – цена золота, запасы руды, количество золота, расстояние перевозки руды, затраты на добычу, транспортировку руды, расходы на переработку руды и извлечение золота при разных технологиях (ЗИФ/КВ), мощность обогатительных комплексов, другие параметры.

Содержательное значение всех величин, входящих в выражения (16)–(19), можно видеть в табл. 22. Формула  $Z(R)$  была получена, исходя из величины  $R$  как отношение продажной цены 1 г золота ( $j$ ) к полной себестоимости получения 1 г золота ( $t$ ). При этом полная себестоимость рассчитывалась по данным табл. 22, включая относительные доли золота, полученные методами ЗИФ и КВ. Остальные формулы получались алгебраическими преобразованиями этой формулы. Графические зависимости  $Z$  от  $R$  (или от  $R_{\%}$ ),  $Z$  от  $L$ , и  $R$  от  $L$  для условий 2005 г. показаны на рис. 13, 14 и 15. Очевидно, что величина  $Z(R)$  зависит параметрически от транспортных расходов, т.е. от произведения расстояния перевозки руды  $L$  на удельную стоимость перевозки  $b$ , значения которой скоординированы с дистанцией  $L$  (полагаем, что удельные стоимости составляют 3 руб./т·км для 16 км, 2,4 руб./т·км для 32 км, 2 руб./т·км для 64 км, 1,9 руб./т·км для 96 км, 1,85 руб./т·км для 128 км). Для наглядности зависимость  $Z(R)$  показана на рис. 13 для трех расстояний.

В свою очередь  $Z(L)$  параметрически зависит от  $R$  (а также от удельной стоимости перевозки для каждого расстояния). Поэтому в графических зависимостях  $Z(L)$  используются несколько значений параметра  $R$  (рис. 18). Аналогичный подход использован для зависимости  $R(L)$  на рис. 19. На рис. 20 показана двухмерная зависимость  $Z$  от  $L$  и  $R$ .

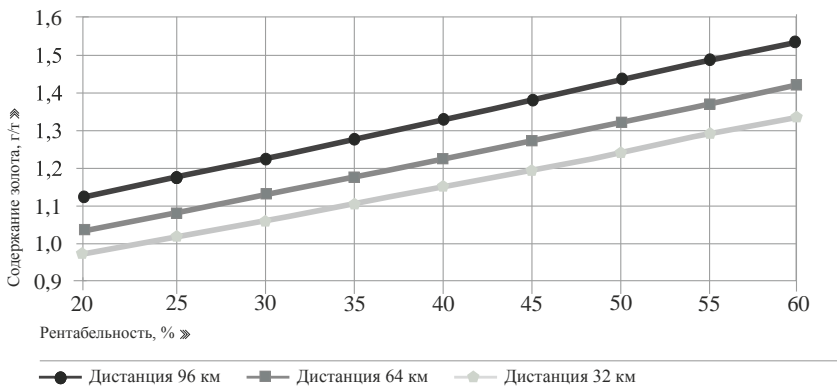


Рис. 18. Зависимость требуемых содержаний золота от задаваемого уровня рентабельности для разных дистанций перевозки руды (модель Z(R), 2009 г., базовый вариант)

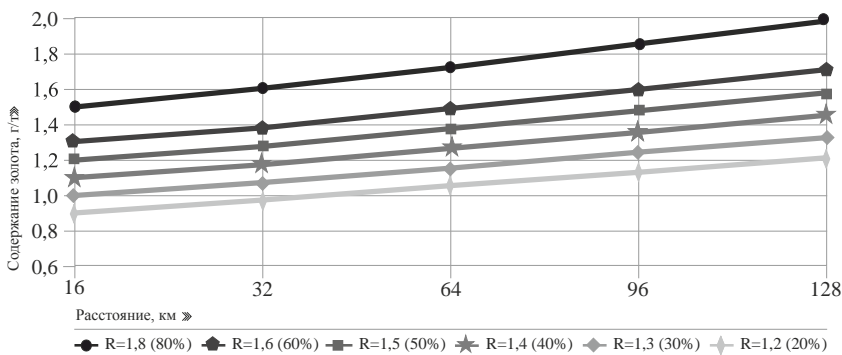


Рис. 19. Зависимость требуемых содержаний золота от расстояния транспортировки руды при разных уровнях рентабельности (модель Z(L), 2009 г., базовый вариант)

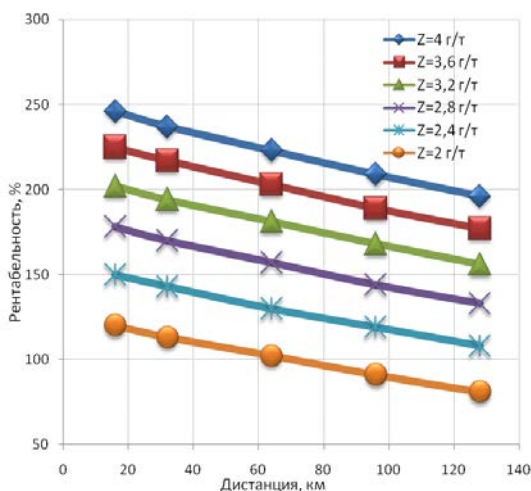


Рис. 20. Зависимость уровня рентабельности от расстояния транспортировки руды при разных содержаниях золота (модель R(L), 2009 г., базовый вариант)

Рисунки иллюстрируют модельные расчеты (зависимости  $Z(R)$ ,  $Z(L)$ ,  $R(L)$  и  $R(L,Z)$ ) для экономических условий 2009 г. (табл. 20, столбцы *H*, *I* и *J*, аналогичные рисунки сделаны и для 2005 г.) т.е. при повышении цены реализации товарного золота в 2,5 раза, до 900 руб./г (это соответствует средней цене реализации золота компаниями в 2009 г., с учетом примерно 10%-го дисконта от мировой цены, – Табл. П.11, П.12, П.13). При этом повышены стоимости всех технологических этапов производства золота (себестоимости рудной добычи, перевозки и прочие) в 1,35 раза, что соответствует инфляционным изменениям на период середины 2009 г. (табл. П.10). Поскольку продажная цена золота возросла существенно больше, чем суммарные расходы на его производство, то уровни рентабельности возросли до 120–145%. Относительная доля транспортных расходов в общей себестоимости практически не изменилась (это связано с тем, что в расчетах были введены одинаковые инфляционные коэффициенты для всех видов расходов), но их роль в общей рентабельности заметно снизилась.

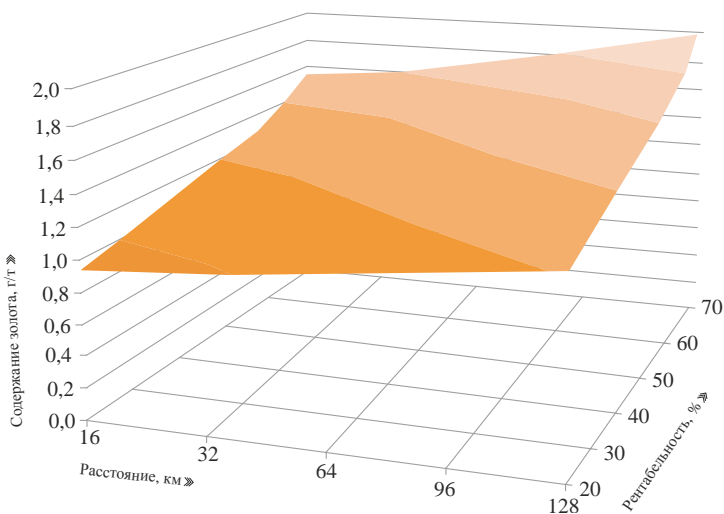


Рис. 21. Зависимость требуемых содержаний золота  $Z$  от разных дистанции  $L$  и рентабельности  $R$  (модель  $Z(L,R)$ , 2009 г., базовый вариант)

Двумерная зависимость (рис. 21) объединяет все три предыдущие зависимости (их можно получить рассечением двухмерной поверхности плоскостями, параллельными той или иной оси). Из рисунков видно, что все зависимости выглядят почти прямыми линиями и они почти параллельны друг другу. Однако нет ни математического, ни экономического резона считать их прямыми и параллельными, поскольку они описываются нелинейными выражениями (13)–(15). Видимые линейность и параллельность связаны с тем, что диапазоны варьирования индексов рентабельности и золотосодержания в вышеуказанных формулах были незначительны, однако они соответствуют типичным условиям золотопромышленности для небольших месторождений (дополнительные замечания по формулам (13)–(15) см. ниже).

Вероятно, такая производственно-экономическая ситуация сейчас действительно существует, но нет оснований полагать, что она будет таковой впредь. Более вероятными представляются условия, когда рентабельность разработки золоторудных место-

рождений будет умеренной, 20–40%<sup>1</sup> (причины для этих прогнозов указаны в разделе 1.1). В этом случае расстояния транспортировки от месторождения до ЗИФ вновь начнут играть более заметную роль.

Возможность разработки удаленных от перерабатывающего центра золоторудных месторождений (100 км и более) при требовании достаточного уровня рентабельности (даже с учетом малого веса транспортных затрат в общих расходах) не всегда совпадает с реальными условиями осуществления горнодобывающей деятельности. В данном случае реализация проекта разработки удаленных объектов сталкивается прежде всего с ограниченностью количества транспорта для перевозки руды (т.е. с поддержанием необходимого темпа подачи руды на ЗИФ), с техническим, энергетическим и иным обеспечением горных работ, вплоть до жизнеобеспечения работающего персонала на удаленных объектах (особенно в зимних условиях). Следовательно, задаваемая рентабельность таких месторождений в ряде случаев не может быть единственным критерием определения целесообразности разработки месторождения, т.к. существуют технические факторы, ограничивающие экономически допустимое расстояние разработки удаленных объектов.

---

<sup>1</sup> Приемлемая для инвестора норма дохода и прибыли на капитал в горной промышленности отличается в большую сторону по сравнению с прочими отраслями. Это объясняется возможными погрешностями определения основных параметров месторождения, а также весьма значительной капиталоемкостью горного производства, большим сроком строительства добывающих и перерабатывающих мощностей предприятия. Кроме того, горнодобывающее производство практически лишено в случае изменения, например, конъюнктуры рынка, переориентировать производство на выпуск другой продукции. В горной промышленности принимается повышенная норма прибыли. Обычно при постоянных ценах она колеблется [36, с. 128]:

- от 10–12% – при разработке месторождений черных, цветных и редких металлов с крупными и средними по размерам рудными телами с выдержанной мощностью и внутренним строением;

- 15–18% – при разработке крупных и средних месторождений цветных металлов и золота с резкой изменчивостью мощности и распределения основного ценного компонента;

- до 20–40% – при разработке месторождений цветных металлов и золота весьма сложного геологического строения с резкой изменчивостью мощности и неравномерным распределением ценного компонента.

Возвращаясь к формуле  $Z$  от  $R$  (13), можно заметить, что при сильном увеличении индекса рентабельности  $R$  (до  $R = \frac{1}{\beta} \approx 4,37$ ,

т.е. рентабельности 337% в 2005 г.) требуемое золотосодержание  $Z$  начинает резко возрастать. Математический и контентный анализ формулы (13) показывает, что причина этого явления в том, что в модельных расчетах используются удельные себестоимости извлечения (доводка) золота на ЗИФ и КВ ( $g_{ЗИФ}$  и  $g_{КВ}$ ), которые не зависят от величины содержания золота  $Z$  в руде. Поэтому при очень больших величинах  $Z$  (гипотетически можем представить, что руда состоит из почти чистого золота) расходами на добычу, дробление/сепарацию и транспортировку руды можно пренебречь. Необходимыми останутся только расходы на доводку практически чистого золота до продажного состояния ( $g_{ЗИФ}$  и  $g_{КВ}$ ). Поэтому предельная рентабельность останется конечной, как отношение продажной цены к удельной себестоимости конечной доводки золота.

Недостатком данных модельных расчетов является то, что себестоимость конечного извлечения золота считается независимой от  $Z$ . Однако надо учесть, что при небольших вариациях золотосодержания, типичных для реальной золотодобычи, эту удельную себестоимость можно считать (почти) неизменной. Во-первых, в нее входят разного рода административные и операционные расходы, которые вообще не зависят от золотосодержания. Во-вторых, некоторые технологические расходы зависят сравнительно слабо от количества золота в руде. Поэтому модельные выводы являются достаточно корректными применительно к типичным месторождениям. Если же станут доступными количественные сведения о зависимости удельной стоимости извлечения золота от его содержания в руде, то модель позволит произвести перерасчет вышеуказанных формул (пробное использование в данной модели возможных зависимостей это подтверждает). Отметим также, что в условиях 2009 г. предельная рентабельность (которая искажает формулу (13)) составляет свыше 700%, что далеко от реальных показателей.

Данные табл. 22 (при необходимости в них могут быть добавлены новые параметры) и процедура их компьютерной обработки позволяют рассматривать различные сценарные варианты. Например, можно рассмотреть задачу о взаимном расположении

двух (или более) рудников и общей для них ЗИФ. В этом случае представляет практическое значение оптимальное взаимное расположение этих объектов (т.е. оптимальные дистанции), при котором рентабельность золотодобычи была бы максимальной. Такая задача является сценарной, поскольку в сценарий расчетов необходимо вводить большой набор конкретных данных (полные и доступные запасы руды на рудниках, золотосодержание, объемы вскрышных работ, технические условия транспортировки руд и т.д.), а также косвенные расходы, связанные с наличием источников водоснабжения, с экологическими требованиями по расположению производственных зон и прочее. При этом в оптимизационную задачу можно вводить также дополнительные технологические ограничения, например, различия в содержании золота разных руд, но при требовании, чтобы усредненный состав смешанной руды на ЗИФ был (почти) постоянным. Примеры такой задачи будут рассмотрены далее. Что касается некоторых крайних вариантов, то ответы на них интуитивно ясны без расчетов. Например, целесообразно располагать ЗИФ вблизи рудника с наибольшими запасами руды и золота.

Такого рода оптимизационные задачи (не обязательно для золотодобычи) ранее решались в виде разного рода методических подходов, например, см. [37]. В этом отношении компьютерные возможности позволяют не заниматься трудоемкой адаптацией существующих методик к конкретной задаче, а прямо формировать в программном контенте набор исходных технологических и финансово-экономических параметров и результатов их промежуточных математических обработок. После этого вариациями тех или иных параметров (допустимых по геологическим, производственно-техническим и экономическим условиям) можно найти искомую оптимизацию, в том числе в графической или табличной форме (электронные таблицы Excel были фактически созданы для математической и вариационной обработки больших массивов данных).

При одновременной разработке малых территориально сближенных объектов возникает необходимость оценки *влияния определенных геолого-промышленных параметров* на изменение рентабельности группового проекта (анализ чувствительности модели к вариациям параметров). Проанализируем чувствительность рассмотренных выше моделей уровней рентабельности разрабатываемого проекта к возможным вариациям технико-экономи-



ческих параметров. В качестве варьируемых параметров выберем продажную цену золота  $j$  (руб./г), величину содержания золота  $Z$  (г/т), стоимости группы технологических операций на добычу, транспортировку и первичную переработку руды (обозначенных символами  $a$ ,  $b$ ,  $L$ ,  $d$  и  $e$ ), а также суммарную себестоимость технологических операций конечного извлечения золота, обозначаемых как  $g_{\text{ЗИФ}}$  и  $g_{\text{КВ}}$ . При этом будем считать, что остальные производственные и технологические операции не изменяются, в т.ч. относительные количества переработки руды методом ЗИФ и КВ ( $k_{\text{ЗИФ}}$  и  $k_{\text{КВ}}$ ), и пересчетные коэффициенты  $n_{\text{ЗИФ}}=1,10$  и  $n_{\text{КВ}}=0,52$ . Впрочем неизменность объемов руды  $k_{\text{ЗИФ}}$  и  $k_{\text{КВ}}$  по отдельности здесь не обязательна, достаточно того, чтобы не изменялись их относительные вклады в общий технологический процесс, т.е. не изменялись величины  $\frac{n_{\text{ЗИФ}} \cdot k_{\text{ЗИФ}}}{n_{\text{ЗИФ}} \cdot k_{\text{ЗИФ}} + n_{\text{КВ}} \cdot k_{\text{КВ}}}$  и  $\frac{n_{\text{КВ}} \cdot k_{\text{КВ}}}{n_{\text{ЗИФ}} \cdot k_{\text{ЗИФ}} + n_{\text{КВ}} \cdot k_{\text{КВ}}}$ ,

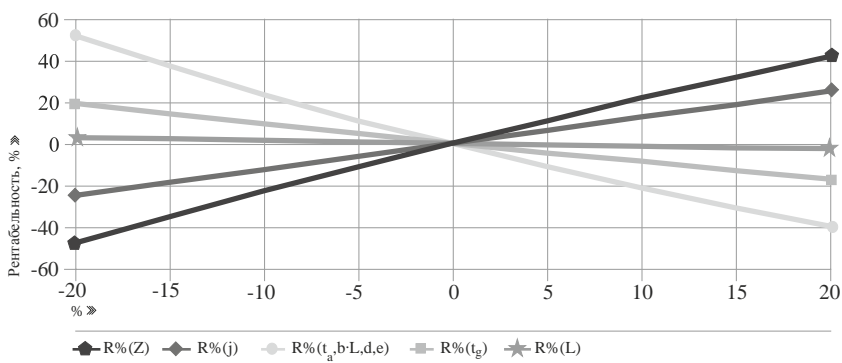
равные в данном случае 0,753 и 0,247 соответственно. Используя численные значения упомянутых выше параметров из табл. 22, можно выразить себестоимость получения одного грамма золота  $t$  (руб./г) (формула (10)) в следующем виде:

$$t = \frac{W}{Z} + V \quad (20)$$

Параметр  $W = 0,684 \cdot (a + b \cdot L + d + e) + 0,475 \cdot (a + d)$  ( $W=496,9$  руб./т для базового случая, соответствующего технико-экономическим условиям Эльдorado в 2005 г.), где численные коэффициенты 0,684 и 0,475 – это результат деления вышеприведенных коэффициентов 0,753 и 0,247 на  $n_{\text{ЗИФ}}=1,10$  и  $n_{\text{КВ}}=0,52$ . Параметр  $W$  характеризует суммарную стоимость технологических операций, непосредственно связанных с валовой переработкой руды. Параметр  $V = 0,753 \cdot g_{\text{ЗИФ}} + 0,247 \cdot g_{\text{КВ}}$  ( $V=82,3$  руб./г для нашего случая) характеризует стоимость окончательной ЗИФ-доводки получаемого золота до продажных кондиций. Соответственно, коэффициент рентабельности  $R$  представляется в виде:

$$R = \frac{j}{\frac{W}{Z} + V} \quad (21)$$

Варьируя величины  $j$ ,  $Z$ ,  $W$  и  $V$ , а также дистанцию  $L$  в пределах  $\pm 20\%$  от их базового варианта, мы получаем графическое представление о чувствительности рентабельности проекта к тем или иным изменениям экономических параметров (рис. 22 для условий 2009 г.). Во избежание недоразумений отметим, что по оси  $X$  показаны вариации параметров, т.е. выраженные в их относительных процентах ( $\pm 20\%$ ) к задаваемым в табл. 22 величинам параметров (столбцы  $C$  и  $H$  для условий 2005 г. и 2009 г. соответственно), но на оси  $Y$  показаны изменения абсолютных величин процентной рентабельности.



$R\%(Z)$	– в зависимости от изменения золотосодержания в руде ( $Z$ );
$R\%(j)$	– в зависимости от изменения цены реализации золота ( $j$ );
$R\%(t_{a,b,L,d,e})$	– в зависимости от изменения с/с операций на добычу, сепарацию, транспортировку и переработку руды на ЗИФ ( $t_{a,b,L,d,e}$ );
$R\%(t_g)$	– в зависимости от изменения затрат на извлечение золота ( $t_g$ );
$R\%(L)$	– в зависимости от изменения расстояния от ЗИФ до месторождения ( $L$ ).

Рис. 22. Чувствительность проекта (по рентабельности) при изменении технико-экономических параметров и экономических условий 2009 г.

### 3.2 Техничко-экономическое моделирование размещения перерабатывающих мощностей при групповой разработке месторождений в зависимости от их количества в группе, геолого-промышленных характеристик и существующих экономических условий

При одновременной разработке малых территориально близких объектов возникает *проблема размещения* обогатительно-го предприятия. Рассмотрим следующую модельную задачу. Представим, что имеется два рудных месторождения золота на расстоянии  $L_0$  (км) друг от друга по общей для них дороге. Пусть доступный запас руды на каждом из месторождений будет равен  $Q_1$  и  $Q_2$  (т) соответственно, а содержание золота в руде –  $Z_1$  и  $Z_2$  (г/т). На каком расстоянии  $L$  (отсчитываемом от 1-го первого месторождения) следует разместить ЗИФ-КОФ так, чтобы обобщенный для обоих месторождений коэффициент рентабельности  $R$  был наибольшим? Другими словами, необходимо определить, насколько важны суммарные транспортные расходы в общей рентабельности двухобъектного проекта, т.к. при уменьшении транспортных расходов при сближении ЗИФ к 1-му месторождению (дистанция  $L$  уменьшается) возрастают расходы на перевозку руды со 2-го месторождения ( $L_0-L$  возрастает) и наоборот.

Поскольку золотосодержание в этих рудах в общем случае неодинаково, то ответ заранее непредсказуем, во всяком случае количественно. Но в данной задаче есть особенность, заключающаяся в том, что случай с очень малыми (нулевыми) расстояниями между ЗИФ-КОФ и каким-либо из объектов не рассматривается, т.к. даже при нулевом расстоянии транспортные расходы не зануляются, поскольку всегда сохраняются ненулевые затраты на маневрирование автотранспорта, погрузку и разгрузку руды и др. В этой ситуации становится нецелесообразным оперировать понятием стоимости перевозки, выраженной в затратах (руб./т), деленных на нуль километров нулевого пути. Поэтому в рассматриваемой задаче дистанция  $L$  будет варьироваться от 16 до 112 км (величина  $L_0-L$  варьируется при этом от 112 до 16 км) при заданном расстоянии между месторождениями  $L_0=128$  км (именно такие дистанции рассматривались в предыдущих вариантах, раздел 3.1). Индекс рентабельности  $R_s$  рассчитывается по базовой формуле:

$$R_s = \frac{j}{t_s}, \quad (22)$$

где  $j$  – цена реализации добытого золота (будем задавать эту величину в соответствии с мировыми ценами на золото и с валютным курсом на соответствующий период, но учитывая дисконт реализации металла; для 2005 г.  $j=360$  руб./г, и  $j=900$  руб./г для 2009 г), а величина  $t_s$  – средневзвешенная (объединенная) себестоимость производства золота от обоих месторождений, учитывая как процесс получения золота непосредственно на ЗИФ-КОФ (метод ЗИФ), так и через способ кучного выщелачивания (метод КВ). Величина  $t_s$  вычисляется по формуле:

$$t_s = t_1 \cdot \psi_1 + t_2 \cdot \psi_2 \quad (23)$$

где  $t_1$  и  $t_2$  – себестоимости получения золота из руды первого и второго объекта соответственно. Величины  $\psi_1$  и  $\psi_2$  – относительные (парциальные) доли производства золота от 1-го и 2-го месторождения ( $\psi_1 + \psi_2 = 1$ ). Математическое выражение для  $t_1$  и  $t_2$  показано выше как формула (10) в разделе 3.1.

Для последующих расчетов в формуле (10) используем **численные** параметры из табл. 22. В результате получаем (полу)численные выражения для себестоимостей:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_1 = \frac{409,1 + 0,684 \cdot b_L \cdot L}{Z_1} + 82,4 = \frac{A_1}{Z_1} + B_1 \text{ (руб./г)} \end{array} \right. \quad (23)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} t_2 = \frac{409,1 + 0,684 \cdot b_{L_0 - L} \cdot (L_0 - L)}{Z_2} + 82,4 = \frac{A_2}{Z_2} + B_2 \text{ (руб./г)} \end{array} \right. \quad (24)$$

Здесь  $b_L$  и  $b_{L_0 - L}$  означают цены перевозки руды, зависящие от дистанции транспортировки ( $b=2$  руб./г·км известна для  $L=64$  км, цены для других расстояний вводим исходя из экспертных оценок; эти цены были приведены выше). Выражения для  $A_1$ ,  $A_2$ ,  $B_1=B_2$  видны непосредственно из формул (23), (24) и (10).

Рассмотрим вопрос о парциальных долях  $\psi_1$  и  $\psi_2$  получения золота из руд 1-го и 2-го месторождения. Эти доли зависят от количества руды, добываемой из карьеров этих объектов. В табл. 22 эти величины обозначены как  $k_{ЗИФ}$  и  $k_{КВ}$ , так что суммарное количество руды  $K$ , добываемое на каждом из карьеров, вычисляется как  $K_1 = k_{1ЗИФ} + k_{1КВ}$  и  $K_2 = k_{2ЗИФ} + k_{2КВ}$ . Строго говоря, на ЗИФ-КОФ транспортируется только часть руды ( $k_{ЗИФ}$ ), остальная часть ( $k_{КВ}$ ) перерабатывается методом КВ. Однако мы полагаем (поскольку геолого-промышленные характеристики сближенных малых и средних золоторудных месторождений схожие), что соотношение между  $k_{ЗИФ}$  и  $k_{КВ}$  будет одинаковым на разных объектах. Поэтому парциальные доли  $\psi$  можно представлять в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = \frac{Z_1 \cdot K_1}{Z_1 \cdot K_1 + Z_2 \cdot K_2} \\ \psi_2 = \frac{Z_2 \cdot K_2}{Z_1 \cdot K_1 + Z_2 \cdot K_2} \end{array} \right. \quad (25)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = \frac{Z_1 \cdot K_1}{Z_1 \cdot K_1 + Z_2 \cdot K_2} \\ \psi_2 = \frac{Z_2 \cdot K_2}{Z_1 \cdot K_1 + Z_2 \cdot K_2} \end{array} \right. \quad (26)$$

Экономическая логика подсказывает, что наилучшим вариантом разработки двух карьеров, но имеющих общую ЗИФ-КОФ, является тот, при котором периоды полной выработки рудных запасов будут одинаковыми для обоих объектов, т.е.  $\frac{Q_1}{K_1} = \frac{Q_2}{K_2}$ . Для расчетов рассмотрим 3 варианта:

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = Q_2, \text{ тогда } K_1 = K_2 \end{array} \right. \quad (27)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = 2 \cdot Q_2, \text{ тогда } K_1 = 2 \cdot K_2 \end{array} \right. \quad (28)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q_1 = 4 \cdot Q_2, \text{ тогда; } K_1 = 4 \cdot K_2 \end{array} \right. \quad (29)$$

Первый вариант соответствует двум одинаковым по запасам руды (но не обязательно по запасам золота) месторождениям, в

последнем варианте запас руды на первом объекте намного больше, чем на втором (такие модельные варианты вполне соответствуют реальным ситуациям с МСБ золота). Следовательно, для этих 3-х вариантов имеем:

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \text{ и } \psi_2 = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \end{array} \right. \quad (30a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = \frac{2 \cdot Z_1}{2 \cdot Z_1 + Z_2} \text{ и } \psi_2 = \frac{Z_2}{2 \cdot Z_1 + Z_2} \end{array} \right. \quad (31b)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1 = \frac{4 \cdot Z_1}{4 \cdot Z_1 + Z_2} \text{ и } \psi_2 = \frac{Z_2}{4 \cdot Z_1 + Z_2} \end{array} \right. \quad (32c)$$

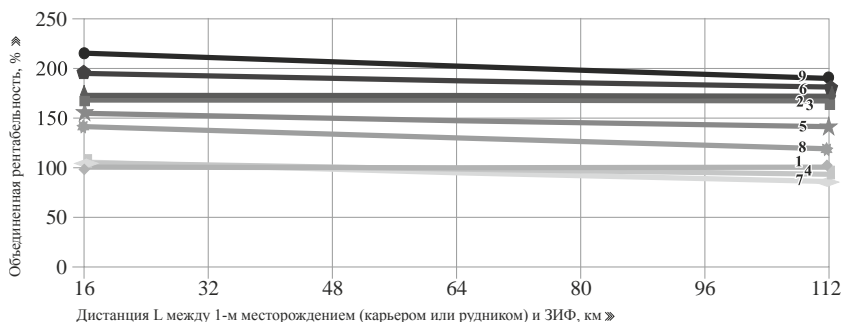
Содержание золота  $Z_1$  и  $Z_2$  будем варьировать в пределах от 2 до 4 г/т, что также вполне соответствует реальным геолого-промышленным условиям по качеству сырья малых и средних месторождений. Таким образом, мы имеем необходимый набор численных параметров и математических выражений, чтобы рассчитывать средневзвешенные коэффициенты рентабельности объединенной работы двух карьеров для разных вариантов. Для этих вариантов формула (22) записывается в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{j \cdot (Z_1 + Z_2)}{A_1 + A_2 + B \cdot (Z_1 + Z_2)} \end{array} \right. \quad (33a)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{j \cdot (2 \cdot Z_1 + Z_2)}{2 \cdot A_1 + A_2 + B \cdot (2 \cdot Z_1 + Z_2)} \end{array} \right. \quad (34b)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \frac{j \cdot (4 \cdot Z_1 + Z_2)}{4 \cdot A_1 + A_2 + B \cdot (4 \cdot Z_1 + Z_2)} \end{array} \right. \quad (35c)$$

На рисунке 23 зависимости объединенной рентабельности (%) двухобъектного проекта показаны графически для разных вариантов, т.е. для разных  $L$ ,  $Z_1$  и  $Z_2$  и для экономических условий 2009 г. Из них следует, что в варианте  $K_1=K_2$  (т.е. в случае, когда на ЗИФ-КОФ привозится одинаковое количество руды с обоих карьеров) какой-либо зависимости от дальности расположения ЗИФ нет (линии 1, 2, 3). Это объясняется тем, что в этом случае происходит *полная взаимная компенсация* транспортных расходов – насколько возрастают расходы на перевозку от 1-го карьера при увеличении  $L$ , настолько же уменьшаются расходы от 2-го. Поэтому линии 1, 2 и 3 являются прямыми, параллельными оси  $L$ , но расположенными на разных уровнях рентабельности.



	$Z_1=2, Z_2=2 \text{ г/м}$	$Z_1=2, Z_2=4 \text{ г/м}$	$Z_1=4, Z_2=2 \text{ г/м}$
<b>вариант <math>K_1=K_2</math></b>	линия 1	линия 2	линия 3
<b>вариант <math>K_1=2 \cdot K_2</math></b>	линия 4	линия 5	линия 6
<b>вариант <math>K_1=4 \cdot K_2</math></b>	линия 7	линия 8	линия 9

Рис. 23. Зависимость объединенной рентабельности двухобъектного проекта от дальности размещения ЗИФ-КОФ от одного из месторождений (модельные расчеты выполнены на основе технико-экономических данных по проекту Эльдorado за 2005 г., но по экономическим условиям 2009 г., которые включают реализационную цену золота 900 руб./г и инфляционный коэффициент, равный 1,35 для всех видов производственных расходов)

Отметим, что уровень рентабельности зависит от суммы  $Z_1+Z_2$ , но не от содержания золота по отдельности (см. формулу (39a)). Поэтому линии 2 и 3 на рисунках фактически сливаются (здесь одинаковы суммы  $Z_1+Z_2$ ). Линии 4, 5, 6 и 7, 8, 9 демонстрируют эти же зависимости для вариантов *b*) и *c*), т.е. для разных объемов руды и золота, поступающих с разных карьеров. Видим, что в этих вариантах максимальная рентабельность достигается в случае, когда ЗИФ расположена как можно ближе к источнику наибольшего количества руды. Этот ответ можно предвидеть без вычислений, но моделирование, во первых, дает количественные результаты и, во-вторых, эти (полу)численные расчетные модели можно использовать для качественного и количественного анализа задачи, например, с несколькими месторождениями, расположенными произвольным образом.

Не нарушая общности результатов, решение многообъектной задачи можно выполнить в графическом виде (рис. 24). На террито-

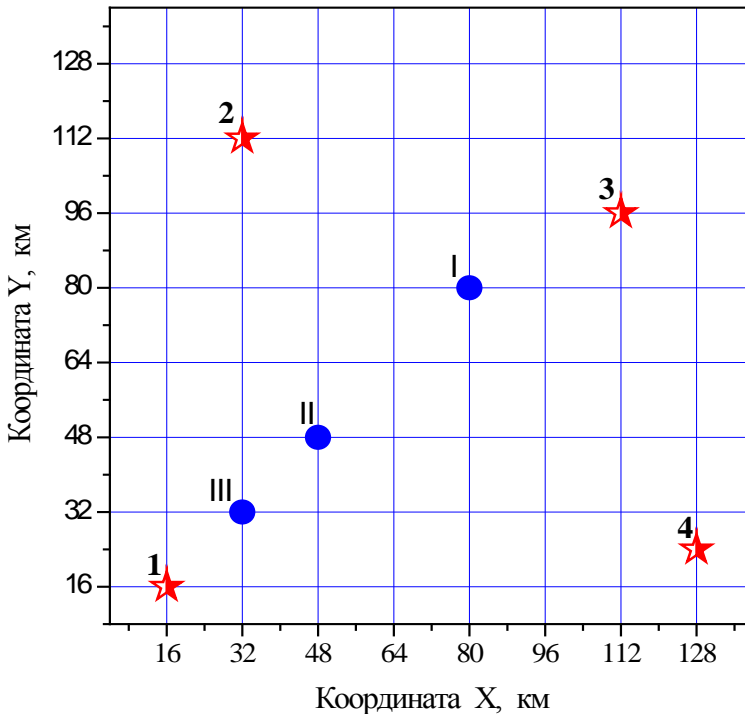


Рис. 24. Модельное размещение месторождений (1, 2, 3 и 4) и варианты размещения ЗИФ-КОФ (I, II и III) при групповой эксплуатации



рию проекта наносим координатную сетку с шагом 4 км (выбор шага может быть другим, но сейчас он отвечает как технической необходимости, так и реальным условиями размещения малых и средних золоторудных месторождений). Предположим, что в некоторых узлах сетки расположены месторождения с координатами  $(x_1, y_1)$ ,  $(x_2, y_2)$ ,  $(x_3, y_3)$ ,  $(x_4, y_4)$  (и, при необходимости, координаты других объектов). Произвольным образом внутри сетки расположена общая ЗИФ с координатами  $(x_0, y_0)$  (см. рис. 24), соединенная с объектами прямыми автодорогами (на схеме они не показаны).

Тогда дальность транспортировки руды от  $i$ -го месторождения будет вычисляться по формуле:

$$L_i = \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \quad (36)$$

Эти дистанции будут подставляться в формулы (23) и (24) для вычисления себестоимости  $t_i$  получения золота из руды  $i$ -го карьера. Однако предварительно проведем некоторые уточнения в формулах (23) и (24). До этого использовались дискретные дистанции  $L=16, 32, 48, 64, 80, 96, 112$  и  $128$  км, что было обусловлено необходимостью в значительной вариации дистанций. Для них вводились соответствующие дискретные цены  $b$  (раздел 3.1). В рассматриваемом сейчас случае дистанции  $L_i$  могут принимать произвольные величины, поэтому следует использовать подобранную зависимость  $b$  для расширенного расстояния от 1 до 180 км. Для этого воспользуемся уже заданными значениями  $b$  (в ценах 2005, 2009 и 2010 гг.) и добавим к ним оценочные значения для других расстояний:

<b><i>L</i>, км</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>16</b>	<b>32</b>	<b>48</b>	<b>64</b>
<i>b</i> (2005 г.)	7,60	5,52	4,83	3,45	3,00	2,40	2,15	2,00
<i>b</i> (2009 г.)	10,00	7,00	6,52	4,66	4,05	3,24	2,90	2,70
<i>b</i> (2010 г.)	11,00	8,00	7,00	5,00	4,35	3,48	3,12	2,90
<b><i>L</i>, км</b>	<b>80</b>	<b>96</b>	<b>112</b>	<b>128</b>	<b>140</b>	<b>160</b>	<b>180</b>	
<i>b</i> (2005 г.)	1,95	1,90	1,875	1,85	1,79	1,76	1,72	
<i>b</i> (2009 г.)	2,61	2,54	2,51	2,47	2,42	2,37	2,33	
<i>b</i> (2010 г.)	2,80	2,73	2,70	2,65	2,60	2,55	2,50	

Рис. 25 и формула (37а) показывают аппроксимацию для 2005 г. в виде экспоненциальной кривой второго порядка:

$$b = 1,786 + 2,125 \cdot \exp\left(-\frac{L}{27,142}\right) + 5,04 \cdot \exp\left(-\frac{L}{3,264}\right) \quad (R^2 = 0,998) \quad (37a)$$

На этом же рисунке показаны аналогичные аппроксимации для условий 2009 г. (инфляционный коэффициент 1,35 по отношению к 2005 г.) и 2010 г. (инфляционный коэффициент 1,45). Эти зависимости представлены в виде формулы 35b и 36c соответственно:

$$b = 2,438 + 6,217 \cdot \exp\left(-\frac{L}{2,619}\right) + 3,378 \cdot \exp\left(-\frac{L}{22,958}\right) \quad (R^2 = 0,994) \quad (35b)$$

$$b = 2,591 + 7,31 \cdot \exp\left(-\frac{L}{3,27}\right) + 3,07 \cdot \exp\left(-\frac{L}{27,24}\right) \quad (R^2 = 0,998) \quad (36c)$$

Теперь мы получили возможность вводить любое  $L_i$  и получать соответствующую  $b_i$ . Вводим парциальные коэффициенты:

$$\psi_i = \frac{K_i \cdot Z_i}{\sum_1^N K_m \cdot Z_m} \quad (37)$$

где в знаменателе проведено суммирование руды ( $K_m$ ) по всем объектам ( $N$  – число месторождений). Искомый коэффициент рентабельности  $R$  представляется в общем виде:

$$R = \frac{j}{\sum_1^N t_i \cdot \psi_i} \quad (38)$$

Вернемся к рис. 24, на котором изображены три переменных положения ЗИФ, обозначенные как I, II и III, и 4 карьера (1, 2, 3 и 4), расположенные в определенных точках. Результаты расчетов объединенной рентабельности для этих положений ЗИФ применительно к экономическим условиям 2009 г., представлены в табл. 23.

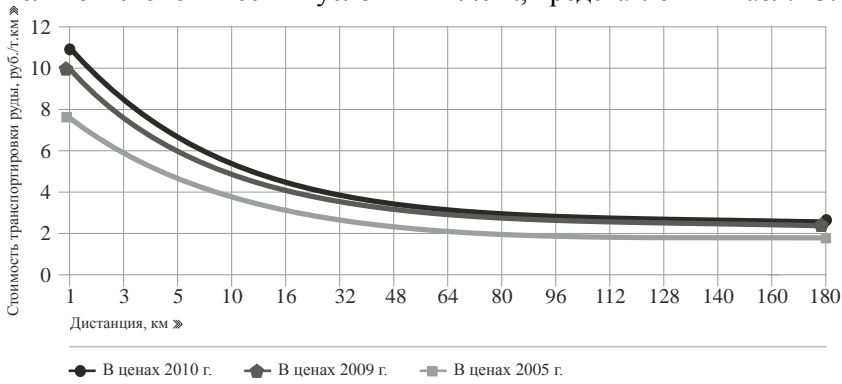


Рис. 25. Аппроксимирующие зависимости цены транспортировки руды от дистанции перевозки для условий 2005, 2009 и 2010 гг.

**Объединенные рентабельности четырех рудников  
для разных положений ЗИФ и при разных содержаниях золота в рудах  
(технико-экономические условия для ситуации 2009 г.)**

Содержание золота в руде, г/т / относительные запасы руды месторождений группы при разных позициях ЗИФ	I (позиция ЗИФ)			II (позиция ЗИФ)			III (позиция ЗИФ)		
	$K_1=K_2=$ $K_3=K_4$	$K_1=2$ $K_2=2$ $K_3=2$ $K_4$	$K_1=4$ $K_2=4$ $K_3=4$ $K_4$	$K_1=K_2=$ $K_3=K_4$	$K_1=2$ $K_2=2$ $K_3=2$ $K_4$	$K_1=4$ $K_2=4$ $K_3=4$ $K_4$	$K_1=K_2=$ $K_3=K_4$	$K_1=2$ $K_2=2$ $K_3=2$ $K_4$	$K_1=4$ $K_2=4$ $K_3=4$ $K_4$
	R, %			R, %			R, %		
$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = 2$	99,7	97,0	94,1	99,6	101,3	103,2	97,5	101,1	105,2
$Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z_4 = 4$	218,3	213,6	208,5	220,3	222,4	224,8	217,5	222,1	227,4
$Z_1 = 2$ г/т, $Z_2 = Z_3 = Z_4 = 4$	194,9	175,1	151,4	194,8	180,2	162,0	192,2	179,9	164,5
$Z_1 = 4$ г/т, $Z_2 = Z_3 = Z_4 = 2$	133,3	148,4	164,0	135,1	156,3	179,2	132,7	156,0	181,7

*Источник:* рассчитано авторами.

Из приведенных расчетов видно, что, в отличие от задачи с  $N=2$  и расположенной между ними ЗИФ, здесь нет полной взаимной компенсации транспортных расходов даже для варианта  $K_1=K_2=K_3=K_4$ . Это объясняется тем, что сумма расстояний от карьеров до ЗИФ-КОФ не является постоянной величиной, как это было в задаче с  $N=2$ . С другой стороны, вариации рентабельности для разных позиций ЗИФ относительно месторождений не очень велики – в пределах 2–6 %. Сравнительно малые вариации  $R$  связаны с тем, что происходит усреднение рентабельностей по нескольким объектам. Поэтому при «перемещении» ЗИФ по территории суммарные транспортные расходы меняются весьма слабо. Отсюда следует вывод, что в случае разработки группового золотодобывчного проекта конкретное положение ЗИФ внутри территории проекта не столь важно. Таким образом, расположение должно быть в первую очередь привязано к экономико-ландшафтному критерию (рельеф местности, гидрогеологическая сеть, размещение площадок складирования руды и отвалов, энергетика, инфраструктура и др.). Разумеется, в том случае, когда один из золотосодержащих объектов значительно (в несколько раз) превосходит другие групповые объекты по запасам руды и золота, то ЗИФ желательно располагать ближе к этому объекту. Так, здесь имеет смысл привести т.н. последовательность Херфиндала [1], по которой эксплуатация близкорасположенных месторождений полезных ископаемых должна подчиняться принципу: «оптимальная разработка отобранной группы месторождений с сопоставимыми между собой запасами полезных ископаемых подчиняется очередному порядку увеличения средних переменных затрат на разработку каждого из месторождений». При такой последовательности совокупные затраты на разработку группы месторождений минеральных ресурсов стремятся к минимуму [93;94].

Если считать, что ЗИФ уже существует, но она расположена вне территории нового группового проекта, то задача сводится к нахождению обобщенной рентабельности для нескольких рудников, расположенных на определенных расстояниях от нее. Это фактически является модельной задачей, рассмотренной нами выше, о включении некоего месторождения в разработку в зависимости от дальности его расположения и от содержания золота в руде. В этом случае необходимо провести простое средневзвешенное суммирование расходов на добычу золота от разных источников.

В вышерассмотренных задачах, как с  $N=2$ , так и с  $N=4$ , неявно предполагалось, что переработка руды на ЗИФ производится отдельно для каждого из рудников. Это выражалось в том, что себестоимости производства золота для каждого рудника рассчитывались по отдельности (эти себестоимости зависят от конкретной величины  $Z$ ) и затем проводилось их средневзвешенное усреднение. Можно полагать, что для ЗИФ предпочтительной будет технология, когда используется смешанная руда разных источников – шихта. В этом случае шихта будет иметь усредненную  $Z$ , от величины которой будет зависеть себестоимость получения золота на ЗИФ. Таким образом, общая себестоимость производства золота от нескольких рудников будет состоять из усредненной себестоимости технологических операций вне ЗИФ (добыча и транспортировка руды, кучное выщелачивание) и из себестоимости технологических операций со смешанной рудой на ЗИФ. Задача со смешанной рудой от нескольких рудников будет рассматриваться при проведении расчетов по реальным данным золоторудных объектов Сибири и Дальнего Востока в Главе 4.

Как следует из всех результатов, именно высокая цена золота в тот или иной период предопределяет существенную рентабельность проекта (свыше 100%), а не оптимизация транспортных и иных расходов. В принципе эти избыточные доходы должны быть вложены в дальнейшее развитие данного или других проектов, а также на поддержание работоспособности проекта в период относительно низких цен.

Модельные задачи решались в базовом варианте, т.е. без учетов налоговых выплат. Включение налогов принципиальных изменений не внесет, но в определенных условиях рентабельность проектов может стать отрицательной. Но здесь мы вновь возвращаемся к уже рассмотренной выше задаче о существовании минимальных уровней золотосодержания, обеспечивающих заданные уровни рентабельности.

### 3.3. Моделирование механизма льготного налогообложения при групповой разработке малых (и средних) месторождений рудного золота

Рассмотренные выше задачи относятся к базовому варианту проекта групповой разработки малых (и средних) золоторудных месторождений. Этот вариант, не включающий в себя налог на добычу полезных ископаемых (НДПИ), налог на прибыль и другие платежи, наиболее отчетливо демонстрирует корреляции между рентабельностью, транспортными расходами и золотосодержанием. На рис. 21 сопоставлены графические зависимости  $Z(R)$  для варианта 2009 г., но либо только при учете платежей НДПИ ( $\delta=0,06$  (6%) от стоимости добытого металла), либо также при выплате налога на прибыль ( $\gamma=0,2$  (20%), исчисленного после выплаты НДПИ). Графические зависимости вычисляются по следующим формулам:

$$Z = \frac{\alpha}{\frac{1-\delta}{R} - \beta} \quad - \text{при выплате только НДПИ}; \quad (39)$$

$$Z = \frac{\alpha \cdot R - \gamma \cdot \alpha}{(1-\delta) \cdot (1-\gamma) + \gamma \cdot \beta - \beta \cdot R} \quad - \text{при выплате НДПИ и налога на прибыль}; \quad (40)$$

Здесь  $R$  – либо индекс рентабельности после выплаты только НДПИ (для формулы (39)) или после выплаты обоих налогов (формула (40)). Значения  $R$  для этих случаев вычисляются по формулам:

$$R_{\text{ндпи}} = \frac{(1-\delta) \cdot j}{t} \quad (41)$$

$$R_{\text{ндпи-нп}} = \frac{j \cdot (1-\delta) - \gamma \cdot [(1-\delta) \cdot j - t]}{t} = \frac{j}{t} \cdot (1-\delta) \cdot (1-\gamma) + \gamma \quad (42)$$

Очевидно, что налоговые выплаты повышают требования к необходимому золотосодержанию в рудах месторождений. В этом отношении данные на рис. 26 позволяют количественно оценить эти изменения. Для других моделей могут быть рассчитаны соответствующие зависимости изменения параметров от вводимых институциональных условий коммерческого варианта. Заме-

тим также, что формулы (41–42) при  $\delta = 0$  и  $\gamma = 0$  (т.е. при отсутствии НДС и налога на прибыль) возвращаются к исходному определению рентабельности  $R = \frac{j}{t}$ . Оговоримся, что налог на

прибыль начисляется только при наличии самой прибыли, т.е. формула (41) действует только тогда, когда величина  $\frac{(1-\delta) \cdot j}{t} \geq 1$ . Если прибыль отрицательная (т.е. величина  $\frac{(1-\delta) \cdot j}{t} < 1$ ), то в формуле (41) мы должны положить величину

$\gamma = 0$  (иначе математически появляются «доплаты» за убытки).

На рис. 27 и 28 графически показана чувствительность модельной рентабельности проекта в экономических условиях 2009 г. к возможным изменениям ставок налогов – при вариации НДС  $\pm 3\%$  от нынешних 6% (т.е. в пределах 3–9%) и при вариации налога на прибыль  $\pm 6\%$  от ставки 20% (в пределах 14–26%).

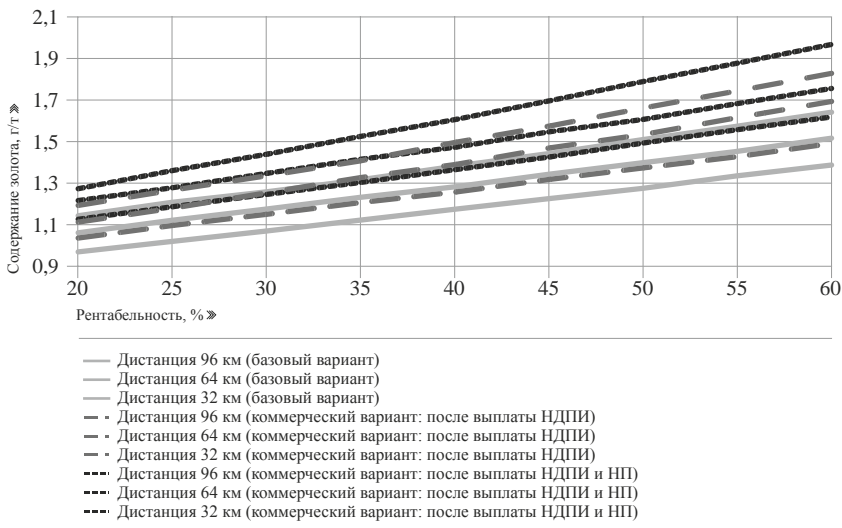


Рис. 26. Зависимость требуемых содержаний золота Z для обеспечения заданных уровней рентабельности при разных дистанциях транспортировки руды (базовый и коммерческий варианты для 2009 г.)

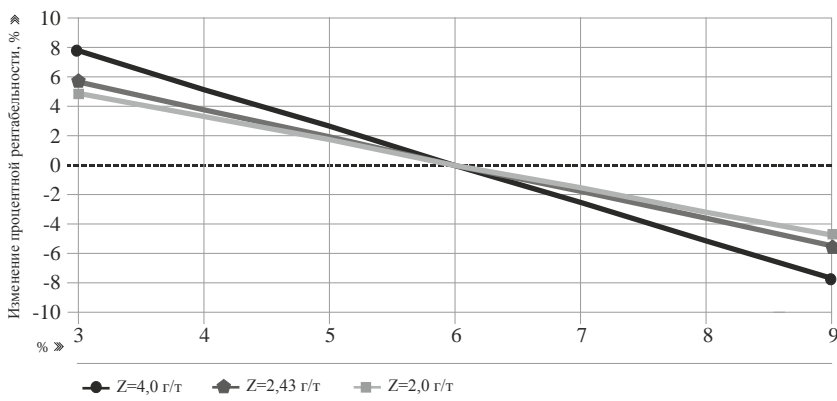


Рис. 27. Чувствительность проекта (по рентабельности) при изменении ставки НДС для разных содержаний золота в руде и экономических условий 2009 г.

Поскольку рентабельность (прибыль) проекта сильно зависит от золотосодержания  $Z$ , что в свою очередь определяет величину самих выплат по налогу на прибыль, то зависимости на рис. 27 (а также на рис. 28) приведены для нескольких величин  $Z$ . Рентабельность  $R$  рассчитывалась по полученной ранее формуле (42):

$$R = \frac{j}{\frac{W}{Z} + V} \cdot (1 - \delta) \cdot (1 - \gamma) + \gamma \quad (43)$$

Здесь  $\delta$  – ставка НДС (она будет варьироваться в пределах 0,03–0,09),  $\gamma$  – ставка налога на прибыль (вариации в диапазоне 0,14–0,26).

Как видим из графика на рис. 27 ставка налога на добычу полезных ископаемых прямо пропорционально сказывается на рентабельности проекта (коэффициент пропорциональности равен величине  $-\frac{j}{\frac{W}{Z} + V} \cdot (1 - \gamma)$ , т.е. отрицательный). При типичном

$Z=2-3$  г/т это соответствует изменению рентабельности примерно на 1% на однопроцентное изменение налога (разумеется, рента-



бельность падает с увеличением ставки). Зависимость рентабельности от ставки налога на прибыль также линейная (коэффициент пропорциональности равен  $-\frac{j}{\frac{W}{Z} + V} \cdot ((1 - \delta) + 1)$ , но прирост или

падение рентабельности, во-первых, менее зависит от изменения налоговой ставки и, во-вторых, также зависит от золотосодержания  $Z$  (рис. 28). Это понятно, поскольку этот налог насчитывается при наличии самой прибыли, которая в свою очередь связана с золотосодержанием.

В случае низкого содержания золота в рудах прибыль может быть нулевой или даже отрицательной (в формуле (43) надо принимать  $\gamma=0$ ), так что здесь вообще не важно, какова ставка налога на прибыль. И наоборот – при высоком содержании золота изменение ставки налога на прибыль приводит к изменению рентабельности проекта, соразмерному самому уровню рентабельности. Это особенно ясно проявляется при увеличении цены на золото, когда рентабельность проекта является высокой даже при пониженном содержании золота.

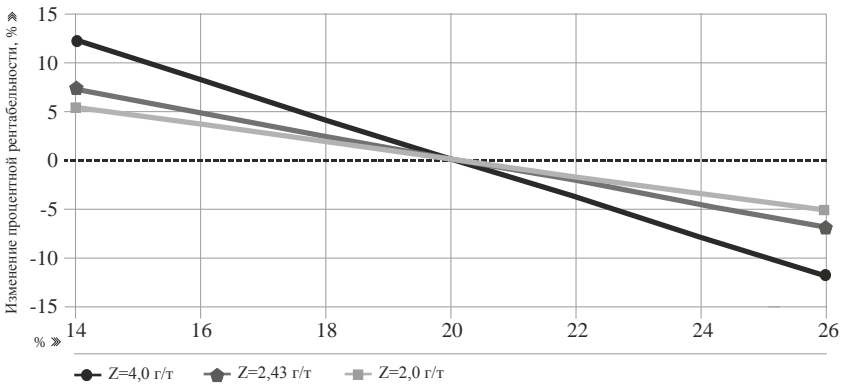


Рис. 28. Чувствительность проекта (по рентабельности) при изменении ставки налога на прибыль для разных содержаний золота (экономические условия 2009 г.)