© М.Х. Пешкова, Н.А. Мацко, М.Ю. Харитонова, 2007

УДК 533.068.5

М.Х. Пешкова, Н.А. Мацко, М.Ю. Харитонова

*ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТУПНОСТИ БЛИЗКО РАСПОЛОЖЕННЫХ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗА СЧЕТ ИХ СОВМЕСТНОЙ РАЗРАБОТКИ**

Вопросы оценки влияния масштабов производства на эффективность разработки месторождений полезных ископаемых достаточно хорошо изучены. Как правило, с увеличением производственной мощности горного предприятия улучшаются и его экономические показатели. При определении экономически целесообразного уровня годовой добычи полезного ископаемого академик М.И. Агошков опирался на зависимость себестоимости добычи от величины производственной мощности по полезному ископаемому [1], в соответствии с которой себестоимость 1 т полезного ископаемого при увеличении годовой мощности горного предприятия сначала снижается за счет сокращения удельных условно-постоянных расходов, а затем начинает возрастать из-за превышения темпов роста удельных величин амортизационных отчислений над темпами снижения удельных условно-постоян-ных расходов. Таким образом, оптимальная, экономически целесообразная мощность горного предприятия должна находиться в диапазоне значений, при которых снижение удельных условно-постоянных расходов компенсирует рост удельных величин амортизационных отчислений.

При совместной разработке близко расположенных месторождений зачастую имеется возможность использования единой инфраструктуры, а при последовательном вовлечении месторождений в разработку и основного горно-транспортного оборудования. В этом случае удельные амортизационные отчисления не только не возрастут при увеличении производственной мощности, но даже снизятся.

Однако существующая практика проектирования не предусматривает никаких изменений в проектировании разработки близко расположенных месторождений, хотя очевидно, что в этом случае имеются существенные особенности, оказывающие неоднозначное влияние на результаты совместной разработки. Так, например, увеличение производственной мощности горного предприятия, возможность совместного использования промышленной инфраструктуры, топливной базы, транспортных коммуникаций, ремонтных служб, жилых поселков, линий электропередач и других сооружений общего назначения, а при последовательном вовлече-

*Результаты исследований получены при финансовой поддержке РФФИ (грант 06-06-80287)

нии россыпей в разработку, и основного горно-транспортного оборудования приводит к сокращению удельных капитальных и эксплуатационных затрат. Снижение же качества запасов за счет вовлечения в разработку более бедных месторождений, наоборот, повышает удельные затраты на единицу готовой продукции.

Техническая возможность переброски горно-транспортного оборудования при бульдозерно-скреперном способе разработке рассматривалась в работе [2], где отмечалось, что бульдозеры, скреперы, одноковшовые экскаваторы могут быть легко переведены на близлежащие россыпи. Перевозка оборудования для подземного или гидравлического способа разработки с искусственным напором также не требует длительного времени и существенных затрат.

Все это позволяет сократить сроки разработки россыпей и увеличить производственную мощность по добыче песков. При этом для каждой отдельной россыпи производственная мощность превышает экономически целесообразные значения, которые бы принимались при ее самостоятельной разработке. В рассматриваемом же случае отдельные россыпи подобны участкам одного месторождения, разрабатываемым последовательно. Запасы такого месторождения равны суммарным запасам россыпей долины, включенных в совместную разработку, а производственная мощность является экономически целесообразной для месторождения такого масштаба.

Обычно в пределах одной речной долины наряду с доступными россыпными месторождениями имеются низкорентабельные. И как показывает практика, они и лицензируются одним горнодобывающим предприятием. Зачастую низкорентабельные россыпи так и не вовлекаются в разработку. Ведь создавать отдельные предприятия на их основе нецелесообразно. Однако в ряде случаев совместная разработка таких россыпей может оказаться экономически выгодной.

В связи с этим целью данной работы было: 1) определить экономически целесообразную производственную мощность горного предприятия, последовательно разрабатывающего россыпи одной речной долины; 2) установить, может ли быть повышена и насколько доступность низкорентабельных россыпных месторождений при их совместной разработке с базовой доступной россыпью; 3) сформулировать ограничения на включение в совместную разработку тех или иных запасов.

Для ответа на первый вопрос была использована формула Тейлора [3], представляющая собой хорошо известное соотношение между величиной запасов полезного ископаемого и рациональным сроком их разработки:

$$T = 0,2 \cdot \sqrt[4]{R} \qquad (1)$$

где T — рациональный срок разработки месторождения, лет; R — балансовые запасы месторождения, т.

Если считать одинаковыми горнотехнические условия освоения всех россыпей долины, то срок эксплуатации всех запасов, включаемых в совместную разработку, увеличится в (K_T) раз по сравнению с базовой россыпью:

$$K_T = \sqrt[4]{\frac{R_{сумм}}{R_{баз}}}, \text{ д.е.,} \qquad (2)$$

где $R_{сумм}$ — балансовые запасы россыпей, включаемых в совместную разработку, т.; $R_{баз}$ — балансовые запасы базовой доступной россыпи, т.

Коэффициент прироста производственной мощности предприятия составит (K_Q):

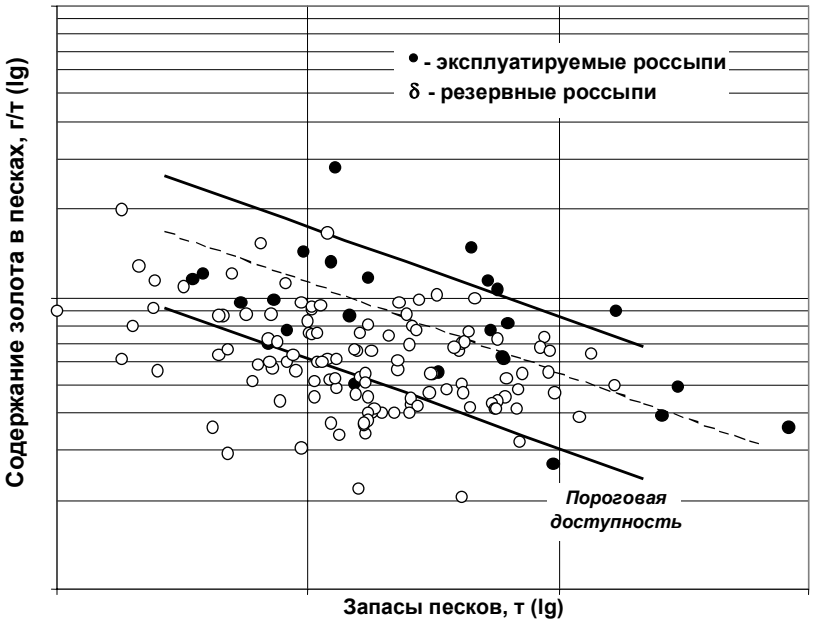


Рис. 1. Диаграмма запас-содержание золотоносных россыпей Красноярского края

$$K_Q = \left(\frac{R_{сумм}}{R_{баз}}\right)^{\frac{3}{4}}, \text{ д.е.} \qquad (3)$$

Очевидно, что в соответствии с зависимостью себестоимости добычи от производственной мощности горного предприятия [1] удельные значения эксплуатационных затрат должны снизиться для совместной разработки россыпей, поскольку в этом случае производственная мощность возрастает в K_Q раз. Однако получить сегодня достоверную информацию об уровне затрат даже для стадии предварительной оценки месторождений непросто. Статистические и нормативные модели, разработанные в прошлые годы для этих целей, устарели. Использование индексов-деф-ляторов дает слишком большую ошиб-ку [4]. При использовании же фактических показателей, достигнутых на месторождении-аналоге, неизбежны искажения, обусловленные, в том числе, нежеланием недропользователей в полной мере делиться природной рентой. Поэтому для оценки удельных эксплуатационных затрат, необходимых для совместной разработки россыпей, использовался подход, предложенный авторами ранее [5].

Его основная идея заключалась в использовании экономической информации, получаемой в результате анализа состояния минерально-сырьевой базы региона, представленной месторождениями, сгруппированными по промышленным или генетическим типам на диаграммах запас-содержание, пример которой приведен на рис. 1.

С использованием логит-регрессионного моделирования строятся поверхности, характеризующие вероятность вовлечения месторождений в разработку в зависимости от их основных горнотехнических параметров и от степени освоения данной минерально-сырьевой базы. Подробно этот подход рассмотрен в работе [5]. Линия пороговой доступности с вероятностью вовлечения месторождений в разработку

($P_{гран}$) представляет собой границу между подмножествами эффективно эксплуатируемых месторождений и месторождений, где затраты периодически превышают цену на минеральное сырье. Она определяется отсечением 10% эксплуатируемых месторождений с худшими горнотехническими параметрами. Линии пороговой доступности соответствует граничное значение содержания полезного компонента $\alpha_{гран}$, которое определяется из выражения:

$$\alpha_{гран} = \left(\frac{P_{гран.}}{1 - P_{гран.}} \right)^{\frac{1}{b_1}} \cdot e^{-\frac{b_0}{b_1}} \cdot S^{-\frac{b_2}{b_1}} \cdot K^{-\frac{b_3}{b_1}} \qquad (4)$$

где $P_{гран}$ – пороговая вероятность вовлечения месторождения в разработку; S – запасы руды (песков), т; K – коэффициент вскрыши, м^3/т; b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты логит-рег-рессионной модели.

Предполагалось, что удельные эксплуатационные затраты предприятий, находящихся на линии пороговой доступности и разрабатывающих запасы с содержанием металла в руде $\alpha_{гран}$, являются замыкающими и равны средней рыночной цене на минеральную продукцию. Разработка запасов этих месторождений осуществляется с нулевой эффективностью. Для месторождений, лежащих выше или ниже линии пороговой доступности (с содержанием металла в руде α), удельные текущие затраты на производство металла равны $Ц \cdot \frac{\alpha_{гран}}{\alpha}$.

Зависимость граничного содержания от объемов руды (песков) имеет убывающий вид: чем больше запасы руды, тем при более низком содержании полезного компонента месторождение может быть вовлечено в разработку. Если при определенных запасах руды содержание полезного компонента выше граничного значения, то такое месторождение с большей вероятностью будет вовлечено в разработку, если ниже — то, скорее всего, такое месторождение осваиваться не будет, пока не будут усовершенствованы технологии или существенным образом не изменятся условия недропользования в регионе.

Изложенный выше подход был использован для определения удельных эксплуатационных затрат на совместную разработку россыпей. Алгоритм определения целесообразности включения конкретных россыпей в совместную разработку выглядел следующим образом:

1) выбирается базовая россыпь из тех, которые либо уже осваиваются, либо принято решение о ее эксплуатации. Как правило, это месторождение с более высоким содержанием полезного компонента или с наибольшими запасами;

2) определяется вероятность его вовлечения в разработку и удельные эксплуатационные затраты;

3) суммируются запасы базового месторождения и запасы расположенной вблизи россыпи. При этом на диаграмме запас-содержание, пример которой приведен на рис. 1, точка, соответствующая базовой россыпи, сместится вправо и вниз. Вправо — потому что произошло увеличение запасов песков, а вниз — потому что при вовлечении в разработку более бедной россыпи снижается содержание полезного компонента в суммарных запасах;

4) определяется вероятность вовлечения и удельные эксплуатационные затраты на разработку двух россыпей, как если бы они представляли собой одно месторождение, последовательно разрабатываемое участками.

Данный алгоритм действий повторяется для всех включаемых в разработку месторождений. При этом контролиру-

ется, чтобы удельные эксплуатационные затраты на совместную разработку россыпей не превышали затрат, которые бы потребовались при самостоятельной разработке базовой россыпи.

Такой подход позволил сформулировать главный принцип включения запасов россыпных месторождений одной речной долины в совместную разработку. Совместная разработка месторождений целесообразна в том случае, когда коэффициент прироста запасов металла (K_v) превышает коэффициент снижения содержания полезного компонента (K_α):

$$K_V \geq K_\alpha^{\frac{b_2}{b_1}-1}, \text{ или}$$

$$\frac{S_{совм.} \cdot \alpha_{совм.}}{S_{баз.} \cdot \alpha_{баз.}} \geq \frac{\alpha_{баз.}}{\alpha_{совм.}}^{\frac{b_2}{b_1}-1} \qquad (5)$$

где $S_{баз.}$ – запасы песков базовой россыпи, м^3; $S_{совм.}$ – суммарные запасы песков россыпей, включенных в совместную разработку, м^3; $\alpha_{баз.}$ –содержание полезного компонента в руде (песках) базовой россыпи, г/м^3; $\alpha_{совм.}$ – содержание полезного компонента в суммарных запасах песков россыпей, включенных в совместную разработку, г/м^3; b_1, b_2 – коэффициенты логит-регрессионной модели.

После того, как выявлены россыпи, запасы которых пригодны для разработки совместно с базовой россыпью долины, в соответствии с формулой (1) устанавливается рациональная производственная мощность и срок разработки суммарных запасов.

Такой способ позволяет целенаправленно планировать совместную разработку близко расположенных месторождений, в отличие от других подходов, требующих перебора многочисленных вариантов. Это связано с тем, что основным параметром для расчета эксплуатационных затрат как в статистических, так и в нормативных моделях затрат является производственная мощность. А для ее определения необходимо знать суммарные запасы месторождений, включаемых в совместную разработку. Процесс получается итеративным.

Предложенный подход был апробирован на примере оценки доступности минерально-сырьевой базы россыпного золота Красноярского края. Исследовалась эффективность совместной разработки россыпей долин рек Б. Пит, Удерей, Тея, Б. Мурожная, пригодных для разработки с помощью бульдозеров и экскаваторов. Россыпи длинных речных долин, где целесообразна дражная отработка, не рассматривались.

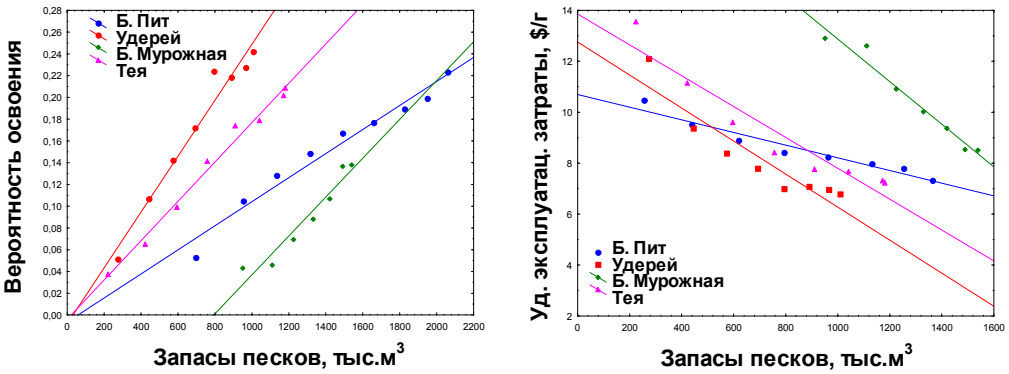
Полученные результаты приведены на рис. 2 и в таблице.

Совместная разработка россыпей долины реки Б. Пит, Удерей, Тея, Б. Мурожная, каждая из которых в отдельности недоступна (доступность ниже порогового значения вероятности вовлечения в разработку — 0,056), позволяет повысить доступность суммарных запасов и приблизить ее значение к доступности базовых россыпей (таблица). Рост доступности запасов при совместной разработке происходит за счет снижения удельных эксплуатационных и капитальных затрат, сопутствующего укрупнению производства. При этом годовая производственная мощность всего комплекса должна быть увеличена в K_Q раз, срок разработки суммарных запасов возрастет в K_T раз по сравнению со сроком разработки базовой россыпи.

Кроме этого, было установлено, что при совместной разработке россыпей одной речной долины доступность суммарных запасов (или вероятность вовлечения суммарных запасов в разработку) определяется доступностью базовой россыпи и практически не изменяется при вовлечении в разработку бедных и мелких месторождений. Это видно из

Показатели, характеризующие совместную разработку золотосодержащих россыпей речных долин Красноярского края

Бассейн реки	Коэфф. прироста производи-тельности	Коэфф. прироста запасов золота	Коэфф. падения качества песков	Прирост запасов металла,	Уд. эксплуатационные затраты, $/г		Вероятность вовлечения в разработку, д.е.	
					Разработка базовой россыпи	Совместная разработка россыпей долины	Разработка базовой россыпи	Совместная разработка россыпей долины
	K_Q	K_V	$K_\alpha^{\frac{b_1}{b_2}-1}$	%				
Тея	5,31	4,79	4,19	479	8,18	7,86	0,15	0,17
Удерей	2,32	2,35	2,34	130	3,67	3,6	0,67	0,68
Большая Мурожная	1,06	1,12	0,92	12	4,39	4,13	0,54	0,59
Большой Пит	1,71	1,67	1,55	67	3,21	3,14	0,76	0,77



а) **б)**

Рис. 2. Зависимости вероятности освоения (а) и удельных эксплуатационных затрат (б) от суммарных запасов россыпей, вовлекаемых в совместную разработку

примера, приведенного на рис. 3. Траектория перемещения объекта (базовой россыпи) из-за прироста запасов в результате совместной разработки россыпей долины реки параллельна изолиниям, характеризующим вероятность вовлечения месторождений в разработку.

Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что совместное освоение россыпей одной речной долины на базе доступного месторождения позволяет эффективно осваивать даже первоначально недоступные запасы, которые по отдельно-

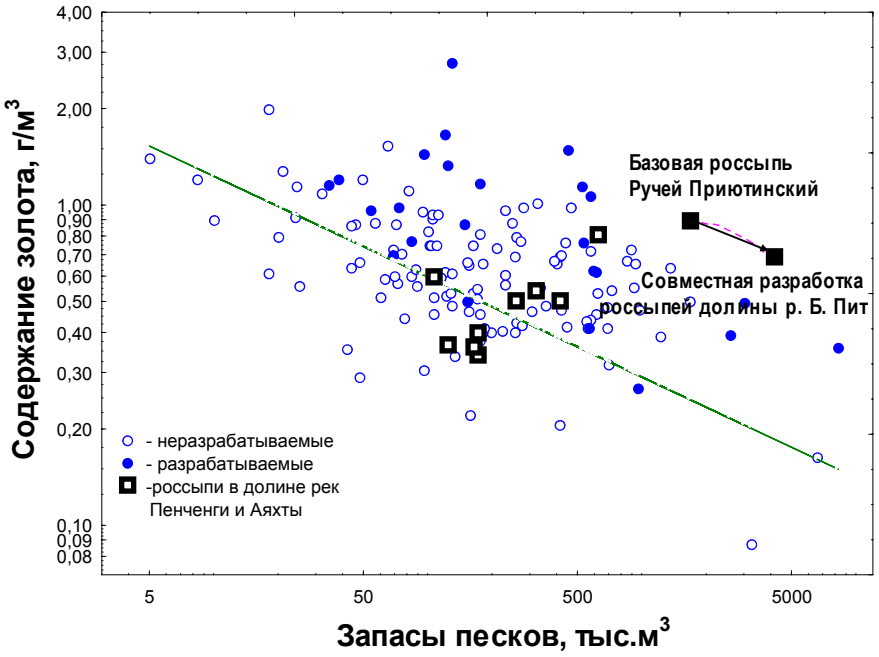


Рис. 3. Диаграмма содержание-запас золотосодержащих россыпей Красноярского края с выделением россыпей долины реки Б. Пит, пригодных для совместной отработки

сти, скорее всего, не будут вовлечены в разработку. При этом результирующая доступность запасов всей долины определяется преимущественно доступностью базового объекта. Это справедливо для всех вариантов совместной разработки россыпей, в которых соблюдается условие: коэффициент прироста запасов превышает коэффициент снижения качества. Кроме того, для эффективного использования горно-транспортного оборудования базового объекта на близлежащих россыпях их запасы должны обеспечивать работу на срок не менее 0,3-1 года. Производственная мощность горного предприятия, ведущего совместную разработку россыпей, должна рассчитываться, исходя из суммарных запасов россыпей, несмотря на то, что их разработка осуществляется последовательно во времени. Очередность ввода в эксплуатацию россыпей может устанавливаться по усмотрению недропользователя.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ в рамках научно-исследовательского проекта «Мезоэкономический подход к оценке минерально-сырьевой базы региона», проект № 06-06-80287

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Агошков М.И., Гольдман Е.Л., Кривенков Н.А.* Экономика горнорудной промышленности. – М.: Недра, 1986.– 264 с.

2. *Шорохов С.М.* Технология и комплексная механизация разработки россыпных месторождений – М.: Недра, 1973. – 724 с.

3. *Camm T.W.* Simplified Cost Model for Prefeasibility Mineral Evaluation // Bureau of Mines Information Circular. — 1991. — 35 p.

4. *Пешков А.А., Мацко Н.А.* Доступность минерально-сырьевых ресурсов. –М.: Наука, 2004.– 280 с.

5. *Мацко Н.А., Харитонова М.Ю.* Оценка доступности запасов полезных ископаемых региона и затрат на их разработку // Региональная экономика и управление: электр. науч. журн. / Вятский государственный университет - [Электронный ресурс]. – Киров: ООО "Международный центр научно-исследовательских проектов", 2006. - №4 (08). - Режим доступа к журн.: http://region.mcnip.ru

Коротко об авторах

Пешкова Марина Харлампиевна – профессор, доктор экономических наук, заведующая кафедрой, Московский государственный горный университет,
Мацко Наталья Аркадьевна – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник ИПКОН РАН,
Харитонова Маргарита Юрьевна – младший научный сотрудник, ИХХТ СО РАН.

Статья представлена кафедрой «Финансы горного производства» Московского государственного горного университета.
Рецензент д-р техн. наук, проф. *М.А. Ревазов.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ им. Г.В. ПЛЕХАНОВА			
ЛУНЕВ Даниил Евгеньевич	Обоснование рациональных конструктивных и эксплуатационных параметров конвейеров с подвесной лентой для предприятий горной промышленности	05.05.06	к.т.н.