



ГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗОЛОТА КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

М.Ю.Харитонов¹, Н.А.Мацко²¹Институт химии и химической технологии СО РАН (ИХХТ СО РАН), Красноярск, Россия; ²Институт системного анализа Федерального исследовательского центра «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия

На начальной стадии оценки ресурсов и запасов низких категорий разведанности проведение детальных экономических расчетов не представляется возможным. Для этих целей предложен упрощенный подход: в качестве исходных данных используются наиболее значимые параметры месторождения, которые можно обосновать более или менее объективно (содержание полезных компонентов в руде, объемы запасов руды, коэффициент вскрыши, способ отработки). Представлены графики зависимостей для экспрессной оценки эффективности освоения месторождений золота Красноярского края с открытым способом разработки. Зависимости могут применяться для оперативного определения экономической эффективности освоения месторождений в условиях ограниченности исходных данных.

Ключевые слова: золотодобыча, экспресс-метод, затраты, эффективность, индекс доходности, чистый доход

A GRAPHICAL METHOD OF ESTIMATING GOLD DEPOSITS DEVELOPMENT EFFICIENCY IN THE KRASNOYARSK TERRITORY

M. Yu. Kharitonova¹, N. A. Matsko²¹Institute of Chemistry and Chemical Technology SB RAS, Krasnoyarsk, Russia; ²Institute for Systems Analysis of the Computer Science and Control Federal Research Centre RAS, Moscow, Russia

At the initial stage of the appraisal of resources and poorly explored reserves, it seems impossible to conduct detailed economic calculations. To this end, the authors suggest a simplified approach applying major deposit parameters, which can be substantiated more or less objectively, as input data. These parameters are the content of commercial components in ore, the volume of ore reserves, the overburden factor, and the way of mining. The paper provides the dependency graphs for the express estimate of the efficiency of gold deposit development by open mining in the Krasnoyarsk Territory. These dependences may be used for the immediate feasibility study of deposit development if there are scarce input data available.

Keywords: gold production, express method, costs, efficiency, profitability index, net earnings.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-2-123-126

Вложения в золотодобычу всегда были привлекательны для инвесторов, особенно в периоды экономических и финансовых кризисов, поскольку в этих случаях золото является надежным активом для инвесторов. Для выбора объекта инвестирования большое значение имеет корректная экономическая оценка месторождений. В зависимости от стадии выполнения геолого-разведочных работ выделяют три уровня оценок запасов полезных ископаемых: начальная оценка, предварительная оценка промышленного значения месторождения, детальная экономическая оценка запасов [4].

В настоящее время значительно возросла роль начальной оценки месторождений, так как в зависимости от степени инвестиционной привлекательности уже на ранних стадиях изучения может появиться инвестор, который сам определяет приемлемую для него степень изученности объекта. Начальная оценка необходима также органам власти, которые занимаются определением перспектив развития отрасли, проведением аукционов и конкурсов по продаже участков недр, организацией презентаций месторождений. Геологам начальная оценка месторождений позволяет принять решения о целесообразности и очередности дальнейших работ или

о прекращении разведки заведомо нерентабельных объектов.

Оценка месторождений на ранних стадиях их освоения производится в условиях ограниченности необходимой геолого-разведочной информации, приближенно по крупным объектам (месторождению в целом, их группе), денежные потоки при этом не дисконтируются. Основная трудность заключается в оценке предполагаемых затрат. Отечественные статистические и нормативные модели затрат, которые использовались в прошлом, устарели, а зарубежные аналоги не могут в полной мере применяться в России. Создание новых моделей затрат, базирующихся на экономических данных о текущей эксплуатации месторождений в настоящее время, при условии действия закона о коммерческой тайне затруднительно.

Известны методики экспресс-оценки эффективности освоения нефтяных месторождений [2, 3] и месторождений твердых полезных ископаемых [1].

Следует признать, что для инвесторов, которых привлекают вложения в золотодобычу, отсутствует инструмент, позволяющий на этапе выбора месторождений оперативно и обоснованно определить перспективность участка. Особенно остро эта про-

блема стоит перед мелкими и средними предприятиями, которым трудно содержать штат специалистов, необходимых для решения столь трудоемкой задачи.

Для оперативной стоимостной оценки в условиях ограниченности исходных данных авторами предлагаются зависимости для экспресс-оценки эффективности освоения месторождений золота. Месторождения оцениваются по наиболее важным параметрам, значения которых хоть и не имеют высокой степени достоверности на ранних стадиях изучения недр, но лишены субъективизма: содержание полезных компонентов в руде, запасы, коэффициент вскрыши, некоторые другие горнотехнические параметры.

Зависимости для экспресс-оценки получены на основе подхода, разработанного для оценки доступности месторождений различного качества и масштаба, в котором количественной мерой доступности запасов полезных ископаемых является вероятность их вовлечения в разработку [5]. Подход апробирован при оценке доступности сырьевых баз различных полезных ископаемых. В результате получены оценки, которые соответствуют реальным процессам, происходящим при освоении минерально-сырьевых баз. В данной работе подход рассмотрен применительно к оценке эффективности разрабатываемых и перспективных месторождений золота Красноярского края.

Кратко охарактеризуем суть этого подхода. Информация о количестве запасов руды и среднем содержании полезных компонентов наносится на диаграмму «запас – содержание». Выделяются разрабатываемые и резервные на текущее время месторождения. С использованием процедуры логит-регрессии определяется функция принадлежности объектов к классам разрабатываемых и неразрабатываемых, т.е. вероятности вовлечения месторождений в разработку (P) в зависимости от количества запасов, содержания полезных компонентов в руде, коэффициента вскрыши. Уравнение для оценки вероятности освоения имеет вид:

$$P = \frac{\exp(b_0 + b_1\alpha + b_2S + b_3K_B)}{1 + \exp(b_0 + b_1\alpha + b_2S + b_3K_B)},$$

где b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты модели; α – содержание полезного компонента в руде, г/м³; S – запасы руды, тыс. м³; K_B – коэффициент вскрыши.

В рамках приведенной модели переменная P будет иметь математический смысл вероятности того, что месторождение с заданными α, S, K_B принадлежит к числу находящихся в эксплуатации.

На основе моделирования вероятности освоения P для совокупности однородных месторождений можно определить ряд показателей.

1. *Граничное содержание полезного компонента в руде – содержание, при котором разработка месторождения с заданными запасами экономиче-*

ски целесообразна на фоне остальных минерально-сырьевых объектов региона. Этот показатель не является аналогом минимального промышленного или бортового содержания. Значения граничного содержания, рассчитанные для месторождений с разными размерами запасов, представляют собой кривую, разграничивающую рентабельные и нерентабельные месторождения для данной сырьевой базы.

2. *Удельные (на металл или руду) эксплуатационные затраты на разработку.*

3. *Эффективность освоения месторождений (аналог индекса доходности затрат PI)*, показывающая максимальную потенциальную эффективность объекта на текущий момент времени. В зависимости от величины эффективности можно разделить объекты по группам – нерентабельные (<1), гранично-рентабельные ($=1$), рентабельные (>1).

4. *Эффективные запасы* – аналог рентабельных запасов металла. Определяются как разность общих запасов металла и запасов, эквивалентных по стоимости суммарным затратам на разработку месторождения. Рассчитанный в натуральном виде показатель в денежном выражении является эквивалентом чистого дохода и показывает интегральный доход за весь срок освоения месторождения.

Возможности использования подхода путем учета в приведенной модели сроков от момента открытия месторождения до начала его освоения рассмотрены в [6, 7].

В настоящей работе на основе вероятностного подхода, кратко описанного выше, представлены зависимости для экспресс-оценки эффективности освоения месторождений золота Красноярского края с открытым способом разработки.

В соответствии с приведенной формулой осуществлено моделирование величины P и определены коэффициенты b_0, b_1, b_2, b_3 . Влияние коэффициента вскрыши на логит-модель статистически незначимо (p -уровень выше граничного). В результате моделирования установлены зависимости показателей, характеризующих эффективность освоения золотосодержащих месторождений Красноярского края от объема запасов и содержания золота в руде (см. таблицу).

Предлагаемые зависимости позволяют проводить оперативную оценку экономической эффективности освоения месторождений на ранних стадиях инвестиционного процесса.

На основании моделирования построены графики, отражающие зависимость индекса доходности и чистого дохода от величины запасов руды при различных содержаниях золота (рис. 1, 2). С их использованием можно приближенно оценить эффективность освоения золотосодержащих объектов Красноярского края с открытым способом разработки, исходя из величины запасов, содержания, существующей ситуации с освоением сырьевой базы золота в регионе и на рынке.



Показатели для экспресс-оценки сырьевой базы рудного золота Красноярского края

Показатель	Формула
Граничное содержание золота, при котором разработка экономически выгодна, г/т	$\alpha_{\text{гран}} = 1,99S^{-0,44}$
Удельные (на металл) эксплуатационные затраты на разработку, руб./г; Ц – цена на золото, руб./г	$\varepsilon_{\text{ме}} = \frac{1,99S^{-0,44}}{\alpha}$
Удельные (на тонну руды) текущие затраты на разработку, руб./т	$\varepsilon = 1,99 \text{ Ц} S^{-0,44}$
Эффективность освоения, доля ед.	$\varepsilon = \frac{\alpha}{1,99S^{-0,44}}$
Чистый доход за весь срок освоения, руб.	$\text{ЧД} = \text{Ц} S \alpha \left[1 - \frac{1,99S^{-0,44}}{\alpha} \right]$
Рентабельные запасы металла, кг	$\varepsilon_{\text{ме}} = S \alpha \left[1 - \frac{1,99S^{-0,44}}{\alpha} \right]$

Пользоваться графиками нужно следующим образом. Задаем один параметр (запасы руды) по горизонтальной оси, примерно определяем по кривым положение точки в зависимости от содержания, исходя из этих двух факторов, оцениваем индекс доходности (чистый доход), проведя прямую линию до вертикальной оси.

Линии с PI = 1 (см. рис. 1) и ЧД = 0 (см. рис. 2) разделяют области графиков на эффективную и неэффективную. Резервные месторождения, находящиеся в настоящее время, на учете нанесены на графики в виде точек. По рис. 1, 2 видно, что большинство объектов характеризуются высокими показателями эффективности, три объекта – граничной рентабельностью, освоение четырех на настоящий момент времени нецелесообразно.

Например, месторождение Светлое с запасами руды около 3 млн т и содержанием 4,5 г/т в современных условиях может быть рентабельным, индекс доходности составит 3,5, а чистый доход – около 27 млн руб. Расчетные удельные эксплуатационные затраты на добычу металла составят примерно 847 руб./г, на тонну руды – 3809 руб./т (при цене на металл 3000 руб./г). Объекты с запасами менее 0,5 млн т руды и с содержанием 3,5 г/т и ниже попадают в область нерентабельных. Часть из них, находящаяся вблизи линии граничной эффективности или на ней, при изменении экономических условий может перейти в разряд рентабельных либо нерентабельных.

Данные рис. 1 показывают, что освоение Усть-Оллонокского месторождения с запасами руды

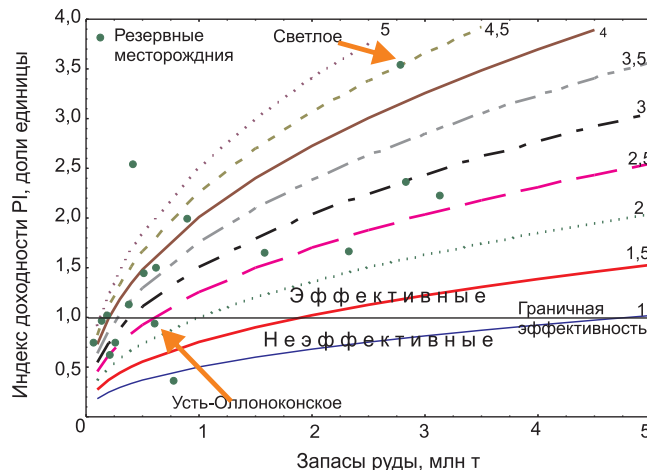


Рис. 1. Зависимость индекса доходности от величины запасов и содержания золота в руде для месторождений Красноярского края с открытым способом разработки. Цифры на кривых – содержание золота в руде, г/т

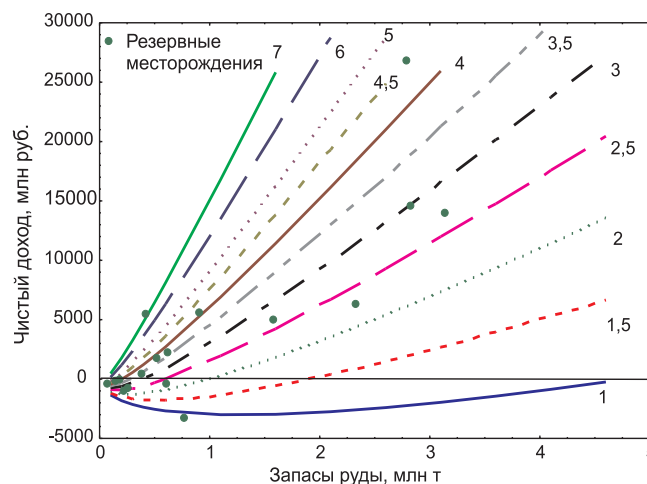


Рис. 2. Зависимость чистого дохода от величины запасов руды и содержания золота в руде для месторождений Красноярского края с открытым способом разработки (при цене золота 3000 руб./т). Цифры на кривых – содержание золота в руде, г/т

0,597 млн т, было бы возможно при содержании золота в добываемой руде более 2,5 г/т. Так как фактическое содержание ниже, проект не может быть реализован, поскольку индекс доходности менее 1, чистый доход отрицательный, затраты не окупятся.

Представленные графики (см. рис. 1, 2) и зависимости (см. таблицу) могут быть использованы в ближайшей перспективе (до 3–5 лет) на начальных стадиях оценки месторождений Красноярского края с открытым способом разработки. В дальнейшем при изменениях экономической ситуации, соотношения осваиваемых и резервных месторождений (при завершении освоения действующих и вовлечения в разработку резервных месторождений) зависимости должны обновляться. При этом состав экономически привлекательной части минерально-сырьевой базы будет меняться.

Таким образом, на примере минерально-сырьевой базы рудного золота Красноярского края продемонстрировано использование метода экс-



пресс-оценки эффективности освоения месторождений. Предлагаемые зависимости получены на основе оценки вероятности вовлечения в разработку месторождений. Они позволяют оценить параметры экономической эффективности освоения перспективных объектов при ограниченности исходных данных. Для применения зависимостей не требуется прогнозирование цен на минеральное сырье. Зависимости позволяют без трудоемких технико-экономических расчетов оценить эффективность разработки месторождений полезных ископаемых, расположенных в одном регионе.

Представленные зависимости могут быть использованы на ранних стадиях инвестиционного процесса при выборе предпочтительных лицензионных участков недр для разведки и добычи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Классен Е. В., Янин А. Н., Янин К. Е.** Экспресс-метод оценки предельно рентабельных технологических параметров и экономической эффективности разработки нефтяных месторождений на территории ХМАО // Вестник недропользователя. – 2004. – № 14. – Точка доступа: <http://www.oilnews.ru/14-14/ekspress-metod-ocenki-predelno-rentabelnykh-technologicheskikh-parametrov-i-ekonomicheskoy-effektivnosti-razrabotki-neftyanykh-mestorozhdeniy-na-territorii-xmao>.
2. **Краснов О. С., Кассандров Э. Г., Мамахатова Р. Т.** Методика комплексной геолого-экономической оценки минерально-сырьевой базы ТПИ // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2006. – № 2-2. – Точка доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kompleksnoy-geologo-ekonomicheskoy-otsenki-mineralno-syrievoy-bazy-tpi>.
3. **Методика** и практический опыт стоимостной оценки запасов и ресурсов нефти и газа / А. А. Герт, К. Н. Волкова, О. Г. Немова, Н. А. Супрунчик. – Новосибирск: Наука, 2007. – 384 с.
4. **Методические** рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев). – М.: ВИЭМС, Министерство природных ресурсов, 1999. – 28 с.
5. **Пешков А. А., Мацко Н. А., Харитонов М. Ю.** Вероятностные модели оценки доступности минеральных ресурсов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2010. – Т. 1, № 12. – С. 265–282.
6. **Харитонов М. Ю., Мацко Н. А.** Развитие вероятностного подхода к оценке доступности месторождений полезных ископаемых // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2015. – № 2(22). – С. 104–107.
7. **Kharitonova M. J., Matsko N. A., Mikhaylov A. G.** Influence of the time factor on the availability of deposits of nonferrous metals // Resources Policy. – 2013. – No. 38. – P. 490–495.

REFERENCES

1. Klassen E.V., Yanin A.N., Yanin K.E. [Express method to estimate maximum feasible technological parameters and economic efficiency of developing oil fields in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug]. *Vestnik nedropol'zovatelya – Subsoil User Bulletin*, 2004, no. 14. (In Russ.).
2. Krasnov O.S., Kassandrov E.G., Mamakhatova R.T. *Metodika kompleksnoy geologo-ekonomicheskoy otsenki mineral'no-syr'evoy bazy TPI* [Methods of integrated feasibility study of the TPI mineral resource base]. *Interekspo Geo-Sibir*, 2006, no. 2-2. Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kompleksnoy-geologo-ekonomicheskoy-otsenki-mineralno-syrievoy-bazy-tpi>. (In Russ.).
3. Gert A.A., Volkova K.N., Nemova O.G., Suprunchik N.A. *Metodika i prakticheskiy opyt stoimostnoy otsenki zapasov i resursov nefiti i gaza* [Methods and practice of oil and gas reserves and resources appraisal]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2007. 384 p. (In Russ.).
4. *Metodicheskie rekomendatsii po tekhniko-ekonomicheskomu obosnovaniyu konditsiy dlya podscheta zapasov mestorozhdeniy tverdykh po-leznykh iskopaemykh (krome ugley i goryuchikh slantsev)* [Guidelines on technical and economic substantiation of conditions to calculate reserves of hard mineral deposits (except for coals and combustible shales)]. Moscow, VIEMS Publ., Ministry of Natural Resources, 1999. 28 p. (In Russ.).
5. Peshkov A.A., Matsko N.A., Kharitonova M.Yu. [Probabilistic models to estimate availability of mineral resources]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' – Mining Information and Analysis Bulletin*, Moscow, MGGU Publ., 2010, vol. 1, no. 12, pp. 265–282. (In Russ.).
6. Kharitonova M.Yu., Matsko N.A. [Probabilistic approach to assessment of availability of mineral deposits]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2015, no. 2(22), pp. 104–107. (In Russ.).
7. Kharitonova M.J., Matsko N.A., Mikhaylov A. G. Influence of the time factor on the availability of deposits of nonferrous metals. *Resources Policy*, 2013, no. 38, pp. 490–495.

© М. Ю. Харитонов, Н. А. Мацко, 2017