

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВОВЛЕЧЕНИЯ В РАЗРАБОТКУ ЗАПАСОВ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ДОСТУПНОСТИ

Изложен подход к оценке доступности ресурсов и запасов полезных ископаемых. Приведены примеры изменения доступности запасов в процессе их разведки, подготовки, разработки и переработки. Показано влияние научно-технического прогресса на доступность месторождений. Установлены зависимости вероятностей вовлечения в разработку запасов полезных ископаемых от уровня их доступности.

The paper presents briefly the way to assess mineral resources approachability and mineral reserves. Some examples of change of approachability of mineral reserves in the process of their prospecting, opening-up, development and processing are given herein. The influence of scientific and technical progress on approachability of deposits is shown, as well as probability dependence of involvement in the development of mineral reserves depending on the level of their approachability is determined.

Понятие «доступность ресурсов» (информационных, трудовых, финансовых и др.) обычно имеет два основных значения: состояние готовности к участию в процессе и возможность их использования ввиду приемлемости цены.

В русском языке слово «доступность» применительно к минерально-сырьевым ресурсам используется давно и, как правило, отражает трудности, связанные с извлечением запасов и обусловленные неблагоприятным географическим положением ресурсов и горно-геологическими условиями разработки. До последнего времени не существовало строгого научного определения доступности минерально-сырьевых ресурсов, поэтому смысловые границы этого понятия были достаточно размыты.

На основе изучения различных значений слова «доступность», включая известные характеристики доступности полезных ископаемых (minerals availability), предложенные Горным бюро США [3], авторами данной статьи было предложено следующее определение [2]: доступность минеральных ресурсов – это свойство системы «общество – минеральные ресурсы», характеризующее

возможность эффективно и безопасно использовать ресурсы на основе достигнутого технологического уровня.

Количественной мерой доступности является отношение фактической цены товарного продукта C_f к его расчетной цене C_p , обеспечивающей безубыточное извлечение и переработку минерального сырья:

$$D = C_p / C_f. \quad (1)$$

Решение об использовании ресурсов принимается при значениях $D > 1$. В некоторых случаях, например для стратегически важных видов сырья или с учетом социальных факторов, могут приниматься решения о разработке недоступных запасов (при $D < 1$).

В системе «общество – минеральные ресурсы» фактическая цена характеризует потребность в данном виде сырья и его дефицитность и, таким образом, отражает допустимые для общества затраты на извлечение и использование данного вида сырья. В качестве фактических могут быть использованы цены на мировых сырьевых рынках. При получении из оцениваемых запасов нескольких товарных продуктов фактическая цена может быть рассчитана как средневзвешенная.

Состояние конкретных запасов, их качество, особенности залегания и расположения учитываются расчетной ценой. Расчетная цена характеризует минимальную цену товарного продукта, при которой принимается решение о разработке и использовании данных запасов. Критерии принятия решения о разработке и использовании запасов и ресурсов различны и зависят от стадии освоения запасов и ресурсов и степени их готовности к использованию, поэтому методы определения расчетной цены различны, однако все они основаны на учете предстоящих затрат. Именно затраты позволяют оценивать степень готовности запасов к использованию. Кроме того, только эти затраты учитываются при принятии решения о продолжении разработки месторождения.

В общем виде расчетная цена $\Pi_{p,t,\tau}$ оцениваемого запаса металла, извлекаемого в t -м году освоения, на момент оценки τ в долларах может быть определена при решении уравнения

$$\frac{P_t \Pi_{p,t,\tau} - C_t - H_t}{P_t (1+i)^{t-\tau}} - \sum_{t=\tau}^T \frac{K_t}{(1+i)^{t-\tau} \sum_{t=t}^T P_t} = 0, \quad (2)$$

где T – срок освоения месторождения, лет; t – год освоения; τ – год оценки доступности запасов (ресурсов), $\tau \leq t$; P_t – объем оцениваемого запаса металла, извлекаемого в t -м году освоения, т; C_t – текущие затраты, необходимые для получения товарной продукции, дол.; H_t – сумма налогов, уплачиваемых в t -м году, дол.; i – ставка дисконтирования для приведения разновременных затрат к одному моменту оценки τ , принимается равной 5%; K_t – капитальные вложения в t -м году, дол.

Значения текущих и капитальных затрат в выражении (2) могут приниматься по фактическим данным, если оценивается доступность оставшихся запасов на действующем горном предприятии, или по проектным данным, если оценивается доступность запасов нового месторождения. На ранних стадиях оценки месторождений мо-

гут быть использованы нормативные модели оценки затрат.

Предложенный критерий (1) позволяет исследовать три динамических аспекта доступности минеральных ресурсов.

1. *Изменение доступности минеральных ресурсов и запасов в результате научно-технического прогресса в области добычи и переработки полезных ископаемых.* При этом происходит снижение Π_p во времени. Как видно из рис.1, через 25-30 лет доступность возрастает с 0,6 до 1,6. Данный график получен на основе обобщения изменений мировых цен на медь, затрат на разработку и переработку медных руд и среднего содержания полезного компонента в рудах за последние 100 лет. Зависимость доступности ресурсов и запасов от научно-технического прогресса показана в виде дискретных изменений, так как изменения в технике и технологии не происходят непрерывно.

2. *Изменение доступности отдельных объемов запасов металлов или других полезных компонентов в рудах по мере выполнения различных работ по их разведке, подготовке, разработке и переработке.* В этом случае также по мере повышения готовности запасов происходит снижение расчетной цены (рис.2).

3. *Изменение доступности запасов месторождений полезных ископаемых вследствие изменения фактической цены, которая является числителем в выражении (1).*

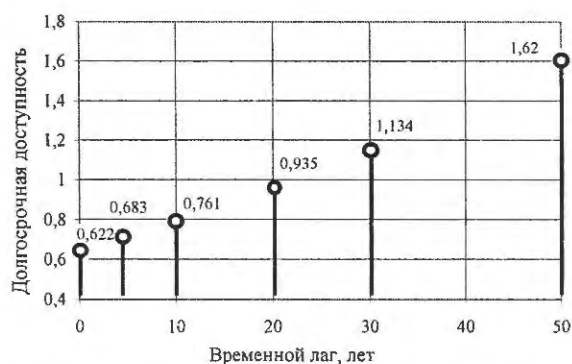


Рис.1. Изменение долгосрочной доступности запасов медных руд во времени в результате научно-технического прогресса

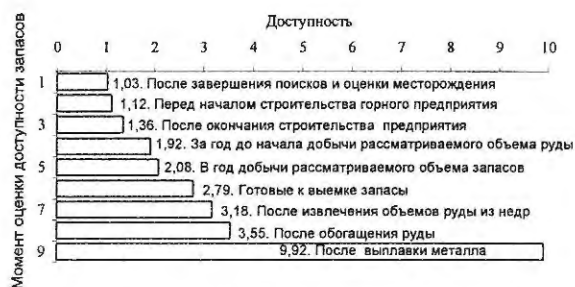


Рис.2. Изменение доступности отдельного объема запасов меди в процессе разведки, подготовки, разработки и переработки

Поскольку при количественной оценке доступности используется расчетная цена, основной задачей является оценка влияния изменчивости цен на принятие решений о вовлечении в разработку различных запасов полезных ископаемых.

Рассмотрим результаты исследований, направленных на решение данной задачи.

Доступность запасов может быть рассчитана с использованием текущей рыночной (spot) цены. В этом случае доступность рассматриваемых запасов будет изменяться в соответствии с колебаниями значений фактической цены. Как видно из рис.3, эти колебания весьма значительны. Коэффициент вариации среднегодовых значений цены на медь составляет 39,6 %, на золото достигает 49,3 %. При таких колебаниях значений рыночной цены запасы большинства месторождений будут считаться доступными или недоступными в зависимости от момента оценки. В качестве фактической цены в выражении (1) можно использовать среднюю цену за длительный промежуток времени. При этом полученные оценки запасов будут характеризовать их долгосрочную доступность.

В современной практике решение о строительстве горного предприятия прини-

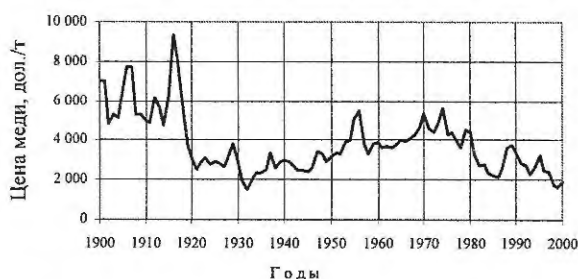


Рис.3. Изменение цены меди на Нью-Йоркской бирже металлов в долларах США 1998 г.

мается на основе технико-экономической оценки проекта, которая, в свою очередь, основывается не на текущих или долгосрочных средних ценах, а на маркетинговых исследованиях и прогнозных ценах.

К сожалению, достаточно достоверных методов прогнозирования цен на минеральное сырье не существует. Обычно используют метод трендов. При анализе проектов можно обнаружить множество неудачных прогнозов. Приведем лишь один. При обосновании строительства Удоканского горно-металлургического предприятия австралийская компания «Минпрок» в 1995 г. прогнозировала цену на медь на ближайшую перспективу 1,05 дол./фунт (2315 дол./т). При этом эффективность разработанного проекта оценивалась внутренней ставкой дохода 3,95 % (с учетом налоговых льгот). На самом деле средняя за 1995-2001 годы цена оказалась равной 0,88 дол./фунт (1940 дол./т). В результате при реализации проект оказался бы убыточным.

Для прогнозирования цен иногда используют различные теории волнового развития экономики: теорию длинных волн Н.Д.Кондратьева, инновационную теорию Й.Шумпетера, ценовую теорию У.Ростоу и др. Не обсуждая здесь научную обоснованность такого рода теорий (об этом написаны многочисленные книги и статьи), отметим, что установленные в рамках данных теорий циклы, как правило, характеризуются неодинаковой продолжительностью с разбросом 50 % и более. Что касается амплитуды, то она не только случайна, но зачастую характеризуется неодинаковыми показателями экономической активности.

Многолетние исследования рядов динамики цен на минеральное сырье, выполненные авторами данной статьи, свидетельствуют о том, что спектры временных рядов изменения цен являются достаточно размытыми (рис.4), что указывает на отсутствие преобладающих циклов или на то, что длина периода является случайной величиной. Аналогичные результаты были получены в работе [1] при изучении цикличности экономических показателей модернизированными методами спектрального анализа.



Рис.4. Спектральная плотность временного ряда изменения цен на медь

На основе анализа временных рядов изменения рыночных цен известными статистическими методами не удалось получить устойчивые закономерности, характеризующие влияние изменчивости цен на принятие решений о разработке месторождений полезных ископаемых с различной доступностью. Поэтому был разработан новый метод статистической оценки временных рядов. Метод позволяет в зависимости от текущего уровня цены определять сроки, в течение которых цена не снизится с заданной доверительной вероятностью. Эти сроки характеризуют инерционность процесса изменения цен.

При изучении практики принятия решений о разработке месторождений было замечено, что, несмотря на наличие и использование арсенала методов прогнозирования рыночной конъюнктуры, положительные решения о строительстве нового горного предприятия обычно принимаются в периоды, когда фактическая цена повышается и превышает тот уровень, при котором обеспечивается необходимая эффективность освоения месторождения. Причем для принятия положительного решения о вовлечении в разработку крупных месторождений цена должна превышать необходимый уровень в течение 3-5 лет, а для небольших месторождений (со сроком эксплуатации не более 7 лет) в течение одного года или нескольких месяцев. Кроме того, существует временной лаг между ростом цены, отражающим повышение спроса на данное минеральное сырье, и увеличением предложения сырья. Такой лаг в горной промышленности в среднем составляет 8-15 лет и объясняется длительностью процессов ввода в эксплуатацию новых месторождений.

Разработанный метод оценки инерционности изменения цен основан на рассечении по оси ординат временного ряда с помощью индикатрис, отражающих различные уровни текущих цен на металлы. На дальнейших этапах определяются количество и суммарная длительность интервалов времени, в течение которых цена находится на уровне не ниже текущего. Распределения вероятностей этих сроков были получены для группы цветных и благородных металлов, и с их помощью построены зависимости, характеризующие инерционность изменения цен на эти металлы (рис.5).

С помощью разработанного метода установлено, что наименее инерционными являются процессы изменения цен на медь, никель, цинк и свинец. Так, например, если текущий уровень цены на медь в какой-либо момент времени превысит среднее значение всего на 10 %, то только 2-3 года цена будет выше текущего уровня. После этого она с 90 %-ной вероятностью снизится. Временные ряды цен на золото, алюминий и олово, напротив, характеризуются высокой инерционностью: тенденции в изменении цены сохраняются дольше. Когда цена на золото превышает среднее значение, она может сохранять тенденцию к росту в течение 4-5 лет. Даже если цена достигает значений, в 1,6-1,8 раз превышающих среднее значение, с 90 %-ной вероятностью она не упадет ниже достигнутого уровня в течение 2-3 лет.

Разработанный метод оценки инерционности изменения цен на минеральное сырье, позволяющий с высокой доверительной вероятностью судить о важных особенностях «поведения» цены в зависимости от ее текущего уровня, был использован для учета влияния динамики изменения цен на при-

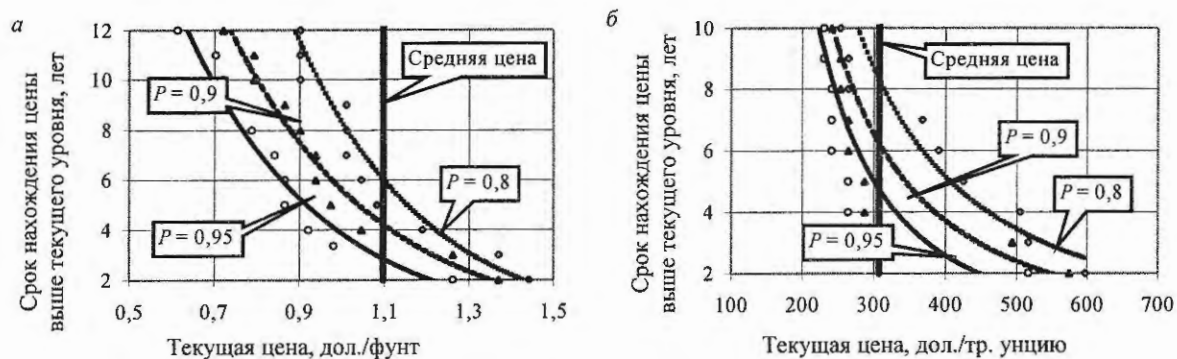


Рис.5. Изменение сроков, в течение которых цена на медь (а) и золото (б) превышает текущий уровень с заданной доверительной вероятностью P

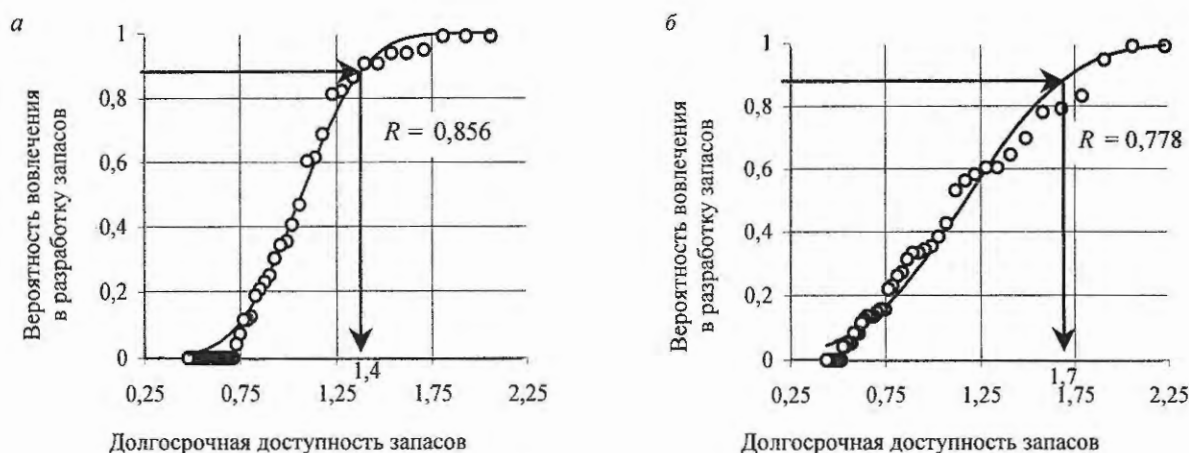


Рис.6. Зависимости вероятностей вовлечения в разработку запасов новых месторождений меди (а) и золота (б) от долгосрочной доступности запасов

нятие решения о вовлечении месторождений в разработку и о продолжении эксплуатации запасов действующих горных предприятий.

Были получены зависимости вероятностей вовлечения в разработку запасов новых месторождений от долгосрочной доступности запасов (рис.6).

При этом минимальный срок, необходимый для принятия решения о строительстве горного предприятия, в течение которого цена равна или превышает требуемые значения, был принят равным трем годам, что соответствует практике принятия решений.

В результате моделирования установлено, что долгосрочная доступность запасов цветных металлов, при которой новые месторождения могут быть вовлечены в разработку с 90 %-ной доверительной вероятностью, находится в диапазоне 1,2-1,5 и составляет: для

меди – 1,4, для никеля – 1,22, для свинца – 1,5, для олова – 1,43, для цинка – 1,3. Долгосрочная доступность запасов месторождений золота должна превышать 1,7.

При использовании кривых, подобных тем, которые изображены на рис.6, для оценки вероятности вовлечения в разработку конкретного месторождения необходимо определить долгосрочную доступность его запасов. Она, как и текущая, рассчитывается с помощью формулы (1), в числитель которой подставляется средняя фактическая цена за длительный промежуток времени. Для определения длительности промежутков времени, в течение которых необходимо определять среднюю цену, были выполнены специальные исследования. Дело в том, что если среднюю цену определять за слишком продолжительный период времени, то в ретроспективные данные попадут значения,

характеризующие устаревший уровень развития техники и технологии освоения месторождений. Поэтому период усреднения данных должен быть минимальным и в то же время достаточным, чтобы отражать основные периоды колебания цены.

Исходя из гипотезы о наличии циклов с периодом, являющимся случайной величиной, были исследованы временные ряды цен продолжительностью 100 лет для группы восьми металлов. Установлено, что средняя продолжительность цикла для различных металлов изменяется от 4,4 до 7 лет. Для меди, свинца, цинка, никеля, серебра в 90 % случаев продолжительность цикла не превышает 9 лет, для олова и алюминия – 12 лет, а для золота – 14 лет. Эти значения были приняты для оценки долгосрочной средней цены.

Разработанные методы оценки динамической доступности запасов и вероятностей вовлечения в разработку новых месторождений были использованы при оценке Удоканского месторождения. Согласно последнему проекту (1995-1996 годы) строительство Удоканского горно-металлургического предприятия (ГМП) считалось целесообразным при условии льготного налогообложения (рис.7). Как видно из рис.7, в начале освоения показатель доступности составляет 0,89, т.е. с учетом инвестиций, необходимых для строительства предприятия, запасы недоступны даже при условии льготного налогообложения.

При проектировании эффективность Удоканского ГМП была оценена с использованием средней цены на медь за пять предшествующих моменту проектирования лет. В 1995 г., когда был выполнен проект, средняя цена составляла 2315 дол./т. В 2001 г. средняя цена за предшествующие пять лет составляла 1940 дол./т и, если бы проект выполнялся в настоящее время, доступность запасов Удоканского месторождения была бы ниже 1,0 даже при исключении всех налогов (момент оценки – 2001 г., пунктирная кривая).

Главной причиной не востребоваемости запасов Удоканского месторождения является низкая доступность его запасов. В соответствии с установленным интервалом усреднения

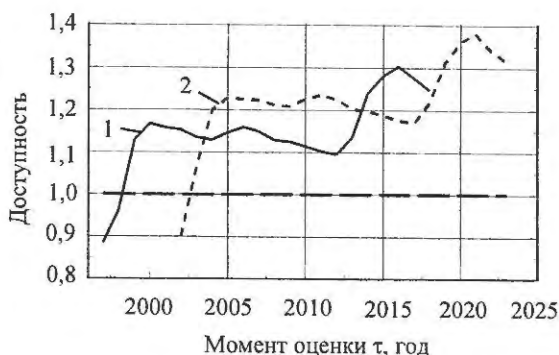


Рис. 7. Изменение доступности запасов меди в соответствии с принятым в проекте порядком освоения участка Удоканского месторождения
1 – момент оценки – 1995 г., льготное налогообложение, средняя цена за 1990-1995 годы 2315 дол./т;
2 – момент оценки – 2001 г., без учета налогов, средняя цена за 1995-2001 годы 1940 дол./т

цен для меди (предшествующие 9 лет), долгосрочная средняя цена в настоящее время составляет 2001,7 дол./т. Расчетная цена с учетом дополнительных доходов от попутного извлечения серебра составляет 2477 дол./т. Долгосрочная доступность запасов при этом равна 0,808. С помощью зависимости, приведенной на рис.6, а, можно определить, что вероятность вовлечения в разработку запасов с такой доступностью равна 15-20 %.

При развитии научно-технического прогресса в области добычи и переработки полезных ископаемых следует ожидать, что доступность запасов рассматриваемого участка Удоканского месторождения через 10 лет может возрасти до 1,0. При этом вероятность вовлечения запасов в разработку повысится до 50 %. Вероятность вовлечения 90 % и более будет достигнута только через 30 лет, когда доступность повысится до 1,4.

Статья подготовлена на основании исследований, выполненных при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атлас временных вариаций природных, антропогенных и социальных процессов. Т.2. Циклическая динамика в природе и обществе. М.: Научный мир, 1998. 432 с.
2. Трубецкой К.Н. Динамическая доступность минерально-сырьевых ресурсов / К.Н.Трубецкой, А.А.Пешков, Н.А.Мацко // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2001. № 5. С.38-43.
3. An Appraisal of Minerals Availability for 43 Commodities. US Department of the Interior, Bureau of Mines. 1987. Bulletin 692. 300 p.