

О. В. Зурьян, заместитель директора по производству, экономике
и общим вопросам,

А. И. Левченко, канд. геол. наук, заведующий отделом экономики
геологических исследований и проблем недропользования (УкрГГРИ)

К ВОПРОСУ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И РИСКА В ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОМ АНАЛИЗЕ И СТОИМОСТНОЙ ОЦЕНКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Освещены существующие подходы к понятиям неопределенности и риска. Изложены на основе теории стратегических игр критерии выбора решения с учетом неопределенности в отношении геологических и экономических параметров промышленной ценности месторождений полезных ископаемых. Приведен числовой пример.

Ключевые слова: факторы неопределенности и риска, геолого-экономический анализ, стоимостная оценка, геологические и экономические параметры, месторождение, участок недр.

1. Факторы неопределенности и риска при оценке месторождений

Необходимость принимать решения, для которых не удастся полностью учесть предопределяющие их условия, а также правомерность будущих эффектов принимаемых решений, встречается на всех этапах геологического изучения недр. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых (МПИ) всегда более или менее связана с подобными факторами неопределенности и риска. Источником и мерой неопределенности сведений о МПИ являются неизбежные случайные погрешности оценок основных геологических и экономических параметров, служащих исходными данными при принятии решения о целесообразности освоения МПИ. Тем не менее отказаться в таких ситуациях от принятия решений большей частью бывает невозможно.

В основном в литературе встречаются различные определения понятий неопределенности и риска [1, 5, 8, 9, 10, 12]:

- риск и неопределенность – синонимы;
- ситуация риска возникает, если при принятии решений существует возмож-

ность определить вероятности “реализации” природой того или иного состояния и, что особенно важно, состояний и соответствующих оценок вероятностей должно быть более одного. Выбор решения в условиях достоверности можно считать частным случаем выбора решения в условиях риска, если вероятности возникновения состояний объективных условий, кроме одного, очень малы;

– при наличии неопределенности можно рассчитывать лишь на то, что перечислив конечное число состояний объективных условий, способных оказать влияние на результат, признать вслед за тем невозможность традиционными способами оценить вероятности каждого из этих состояний.

Рассмотренными случаями не исчерпываются возможные проявления факторов неопределенности и риска. Например, с экономической точки зрения под риском понимается возможность получения недопустимого финансового результата, в частности отрицательного значения NPV. Необходимы также способы задания оценочных параметров, в интервале

изменения которых (x_{\min} , x_{\max}) выбор оценочной функции осуществляется с учетом количественных характеристик ситуации, в которой принимается решение.

Обобщая вышеизложенные подходы, достаточно отметить, что при принятии решения (в зависимости от полноты и качества информации) результат каждого из альтернативных вариантов точно известен, то речь не может идти о риске. Именно это обстоятельство нивелирует понятие “риск” с понятием “неопределенность”: риск существует только тогда, когда есть неопределенность. Причем любой риск не должен превышать уровень, при котором результат решения достигается с достаточной надежностью.

2. Исходные положения оценки месторождений в условиях неопределенности и риска

Обычно в практических ситуациях геологоразведочные работы представляют собой многостадийную процедуру эмпирического предсказания перспективных в промышленном отношении объектов геологоразведки (ГР), обеспечивающих эффективное проведение работ по добыче полезных ископаемых (ПИ). Предполагается, что основной интерес представляют такие МПИ, для которых при существующих технологиях и средствах механизации имеется хотя бы одна, уже освоенная на основе опыта эксплуатации аналогичных МПИ, технология отработки запасов ПИ с учетом эффекта освоения и риска. Имея ввиду контролируруемую подготовку МПИ к использованию, можно говорить о воспроизводимой подготовке, если дополнительно установлены имеющие законченный геолого-экономический смысл концептуальные правила распознавания объектов ГР по двум классам: “месторождения – не месторождения”. Построение подобных правил эквивалентно решению задачи геологической интерпретации горно-экономических параметров природного качества МПИ. Эти данные, как правило, имеют во многом экспертный, нечеткий характер, и этому формальному элементу процесса принятия решений трудно

подыскать содержательный аналог в реальных процедурах прогнозирования. В области своей экспертно-формульной применимости [1, 4] при оценке промышленной значимости объектов ГР приходится иметь дело с ошибками выделения первого рода (пропуски перспективных в промышленном отношении объектов) и ошибками второго рода (лишние). Речь идет о том, что при распознавании геологического объекта, а в случае двух образов: A_1 (перспективный объект) и A_2 (неперспективное рудопоявление) можно ошибочно посчитать, что a принадлежит (не принадлежит) $A = A_1 \cup A_2$, а также ошибочно определить принадлежность $a \in A_1 \vee A_2$. Следовательно, в общем случае, в условиях неструктурированной информации об основных горно-геологических характеристиках объекта ГР и/или недостаточной ориентации на будущее факторов, относящихся к технологическим и экономическим условиям эксплуатации МПИ, можно выделить “лишние” a (нулевые ошибки первого рода) или отбросить “нужные” a (максимальные ошибки второго рода).

Фактически сейчас оценка МПИ является разновидностью нестабильной формульной экспертизы [4, 5]. Это вполне согласуется с объективной возможностью, хотя бы задним числом, в результате региональных исследований и практики разведочных работ на определенный вид ПИ, минимизировать ошибки выделения первого рода (пропуски) и второго рода (лишние). Можно предположить, что граница между перспективными/неперспективными в промышленном отношении МПИ явно не фиксируется, во многом из-за неопределенности и неясности экономических детерминант освоения МПИ в условиях рынка. В частности, ожидания типа “затраты-выгоды” от освоения МПИ определяются многими горно-геологическими и экономическими факторами и предполагают наличие полной информации о состоянии ресурсной базы. При неполной информации может случиться, что разрабатываться будут вновь

открытые “качественные” МПИ, а добыча из менее рентабельных МПИ будет сворачиваться.

Как известно [1, 9, 13, 14 и др.], промышленная ценность МПИ зависит от природных особенностей и экономичности возможной разработки МПИ и от того, насколько промышленное освоение МПИ целесообразно в связи с наличием других, уже эксплуатируемых или известных. Оценить целесообразность и будущий эффект от эксплуатации МПИ можно через минимально допустимое значение заданного критерия эффективности (прибыли, издержек и объема добычи и др.) и, опять-таки, риска. Это служит естественной предпосылкой к сравнительной дифференциальной оценке МПИ и очередности разработки в направлении снижения их экономического качества, т. е. в порядке повышения текущей и капитальной составляющих предельных (“замыкающих”) затрат.

Неопределенность разведочной информации, безотносительно к какому-либо виду ПИ, приводит к произвольным издержкам в сфере добычи, что, во-первых, находит отражение при оценке МПИ через горнотехнические и технико-экономические параметры, с помощью которых выбирается способ его эксплуатации, и, во-вторых, служит ключом к определению рациональных объемов ГРР на том или ином МПИ. Эти факторы сложно связаны между собой и, вообще говоря, субъективно интерпретируемы, в частности, по принципиальной возможности их влияния на эффективность разведки и освоения МПИ.

Как заметил А. М. Марголин [9], “стоит только отказаться от вероятностных свойств информации о разведываемых запасах (т. е. предположить разведанные запасы достоверными), как мы тут же сведем стохастическую модель к детерминированной, в рамках которой уже не удастся найти какое-либо оправдание затратам на разведку открытых месторождений, ибо зачем тратить средства на изучение и без того достоверных запасов”.

Следует в этой связи отметить, что в недалеком прошлом, в условиях трудо-капитального регулирования ценности природных благ, которое можно представить, например, как минимизацию приведенных затрат производственного комплекса (топливно-энергетического, горнопромышленного) на множестве технологий при фиксированных в рассматриваемой перспективе ценах на минеральное сырье (в природном виде или на продукцию определенного целевого назначения), выделение средств на освоение МПИ оценивалось достижением определенного соотношения для запасов категорий $A+B+C_1(C_2)$ с учетом сложности геологического строения объектов оценки. Объекты, по которым это соотношение не достигалось, рассматривались как не подготовленные к освоению. В ныне действующей “Классификации...” [7] такое требование не предусмотрено и относится к компетенции инвестора, т. е. осуществляется “ситуативное” регулирование степени изученности недр в зависимости от необходимого начального капитала на разведку и освоение МПИ, сроков его возмещения и степени риска [1, 5, 8, 13].

Можно считать, что центральная идея, лежащая в основе схемы поисков и разведки МПИ, та же самая – оценочная, предусматривающая своевременное прекращение работ на неперспективных объектах ГР. Однако в практике, видимо, реализуется индивидуальный подход, в соответствии с которым использование при оценке МПИ относительно нового типа информации – сведений о степени достоверности геологических и горнотехнических характеристик объекта ГР при том или ином объеме геологоразведочных работ – неизбежно связано с многообразием и изменчивостью условий добычи, даже для случая, когда природное качество запасов ПИ гомогенно.

3. Содержательная основа оценки месторождений с учетом неопределенности и риска

Начальные положения, которые могут быть положены в основу оценки промышленного потенциала МПИ, в обобщенном

виде сформулируем с учетом требований, пригодных для экономического анализа минерально-сырьевой базы и эффективного планирования геологоразведочных и горных работ [1, 4, 7, 9, 13]. В общем случае какими бы качествами не обладало природное скопление ПИ (пока только в недрах), но оно не может быть признано промышленным МПИ до тех пор, пока оно не выделено, не изучено и не описано способом, удовлетворяющим некоторым фиксированным технологическим и производственным схемам эксплуатации по заранее заданному критерию эффективности, а также связанного с эксплуатацией риска, который для определенных классов МПИ (например, угля или золота) и видов ПИ (например, каменного угля или антрацита, россыпного или коренного золота) будет различным. Заметим, что виды ПИ определяются прежде всего технологией и экономикой их обнаружения, а классы – технологией и экономикой добычи и использования минерального сырья. Внутри классов МПИ можно делить по экономическим показателям, например, по величине капитальных вложений, необходимых для их освоения, по степени риска, величине доходов от их эксплуатации [4].

Есть основания считать [1, 5, 9, 13], что центральным моментом (с учетом технических средств и технологий добычи ПИ) является расчет экономического ущерба, связанного с *геологическим риском*, т. е. неподтверждением параметров природного качества МПИ. Существенно, что первичным является понятие извлекаемого запаса ПИ, который формально представляется как некоторая в общем случае функция от многих характеристик качества запасов МПИ и многих характеристик способа эксплуатации, а также затрат на извлечение ПИ. Естественное качество ПИ учитывается ценой единицы ПИ, которая считается заданной функцией времени. Кроме того, геологический риск может быть связан с ресурсоемкостью производства, включая объемы перерабатываемой горной массы, энерго- и материалоемкость. Так, например, при

добыче меди с концентрацией полезного компонента $< 0,5\%$ существует “минералогический барьер”, при преодолении которого затраты энергии на добычу единицы сырья резко возрастают.

Технологический риск в существенной степени зависит от геологического риска и порождает вероятностный характер способов подготовки и очередности отработки разнокачественных участков (эксплуатационных блоков) МПИ, средств механизации горных работ и т. д. Кроме того, прогноз расчетных среднесуточных объемов добычи связан с некоторыми специфическими видами эксплуатационного риска в технологических звеньях по добыче ПИ: авариями и отказами оборудования; непредвиденной тектонической нарушенностью боковых пород, вызывающей дополнительные затраты в связи с необходимостью проведения добавочных нарезных и подготовительных работ (при подземной разработке) и др.

Экономический риск, в свою очередь, зависит как от геологического и технологического рисков (неопределенность в оценке прямых эксплуатационных затрат на добычу ПИ и сопряженных затрат на создание инфраструктуры), так и от относительной непредсказуемости параметров, задающих рыночную ситуацию: цен и спроса на отдельные взаимозаменяемые разновидности (марки, сорта) одного и того же вида минерального сырья, транспортных тарифов и др. Отсюда вытекает, что при статической постановке задачи вариабельность отработки отдельных эксплуатационных блоков не обнаруживает необходимой связи горно-геологической и технико-экономической информации, так как экономические рамочные условия либо неконтролируемо влияют на экономику МПИ, либо принимаются как “беспроблемные” приближенные величины. Для сравнительной экономической привлекательности альтернативных технологических вариантов отработки запасов МПИ нет надежных, дифференцированных по условиям разработки количественных характеристик потребности в

производственных (трудовых, материальных, энергетических) ресурсах. Дефицит информации о величине таких ресурсов обычно проявляется на этапе проектных кондиций с разделением запасов ПИ на балансовые и забалансовые (так называемый принцип минимальной заблаговременности). Как правило, большая адаптивность требует и больших затрат, что поневоле ограничивает обоснованность таких решений. В практике обоснования эксплуатационных кондиций [9] известны случаи, когда освоение богатых, но трудно извлекаемых запасов оказывается менее эффективным, чем рядовых по естественному качеству запасов, но в благоприятных горно-геологических и экономико-географических условиях.

Относительность решения проблем оценки экологического ущерба, особенно его “развития” с учетом последствий техноэкспансии, объясняется неопределенностью (отсутствием или недостатком знаний об исходе предстоящих событий) принятия решений о необходимых затратах на природоохранную деятельность и экологически безопасных нормативах ущерба окружающей среде от недропользования. Экономический механизм охраны окружающей среды не выводит недропользование за пределы ресурсного подхода к природному потенциалу, когда последнему отводится роль одного из факторов производства, а экосистемные связи игнорируются. Более специфические предпосылки *экологического риска* основываются на предположении, что запасы, находящиеся на грани экономической рентабельности, могут не выдержать давления экологического фактора, если издержки добычи и переработки минерального сырья существенно возрастут за счет затрат, связанных с охраной окружающей среды и рациональным недропользованием, и соответственно снизится прибыль.

Перечисленные выше составляющие элементы неопределенности и инвестиционного риска (рис. 1), присущие задаче ранжирования МПИ по промышленной

ценности, определяют главную отличительную особенность преодоления неопределенности в ситуации неизбежного выбора, в процессе которого предстоит оценить вероятность достижения желаемых результатов освоения конкретных МПИ, неудачи и отклонения от цели, содержащиеся в выбираемых альтернативах.

Заметим, что пока рассматривается процедура расчета состоятельности промышленного потенциала МПИ. По определению, из-за неадекватного понимания рисков, имеющих разную продолжительность, такие оценки формируются на определенных допусках и не претендуют на чрезмерную устойчивость во времени [1, 8, 12]. Особенно на сложно построенных МПИ с нестабильным естественным качеством запасов и труднопредсказуемым “поведением” экономической среды. При этом если для геологов интерес представляют все минеральные скопления ПИ и, прежде всего, вопросы их обнаружения и изучения, то для горного дела – лишь некоторые промышленные МПИ и, прежде всего, вопросы их эффективной эксплуатации сейчас или в ближайшем будущем.

Разумеется, что различать перспективы освоения МПИ необходимо с учетом эластичности спроса и предложения на данный вид минерального сырья, технологических способов добычи и переработки ПИ и объективно им соответствующих уровней приведенных затрат.

4. Экономические и горнотехнологические проблемы фактора времени в задачах оценки месторождений

В литературе интерпретация задач подобного рода не идет дальше методологически верных, но недостаточно конкретных обобщений о конфликтности чисто конкретных коммерческих целей эксплуатации МПИ и требований природоохранного законодательства в части обеспечения экологической безопасности и рационального недропользования.

Нужно сказать, что эта ситуация лежит в основе освоения МПИ с позиций долгосрочной перспективы, когда наибо-

лее остро выступают противоречия между стремлением получить максимальную выгоду как можно раньше (по Ж. Матерону – “практика снятия пенек”) и обработкой запасов МПИ с учетом конкретно выявляющихся на интервале оценки производственных и натурально-ресурсных ограничений, имеющих преимущественное значение для отдельных систем разработки и схем механизации горных работ.

Метод дисконтирования является в этом случае отражением того общеизвестного факта, что при оценке экономического потенциала МПИ “вступают в единоборство” требования эффективного использования двух видов ресурсов – ограниченного запаса ПИ в каждом МПИ (а следовательно, и ограниченного времени его эксплуатации) и приведенных затрат на освоение и эксплуатацию МПИ. Актуализированный (с учетом фактора

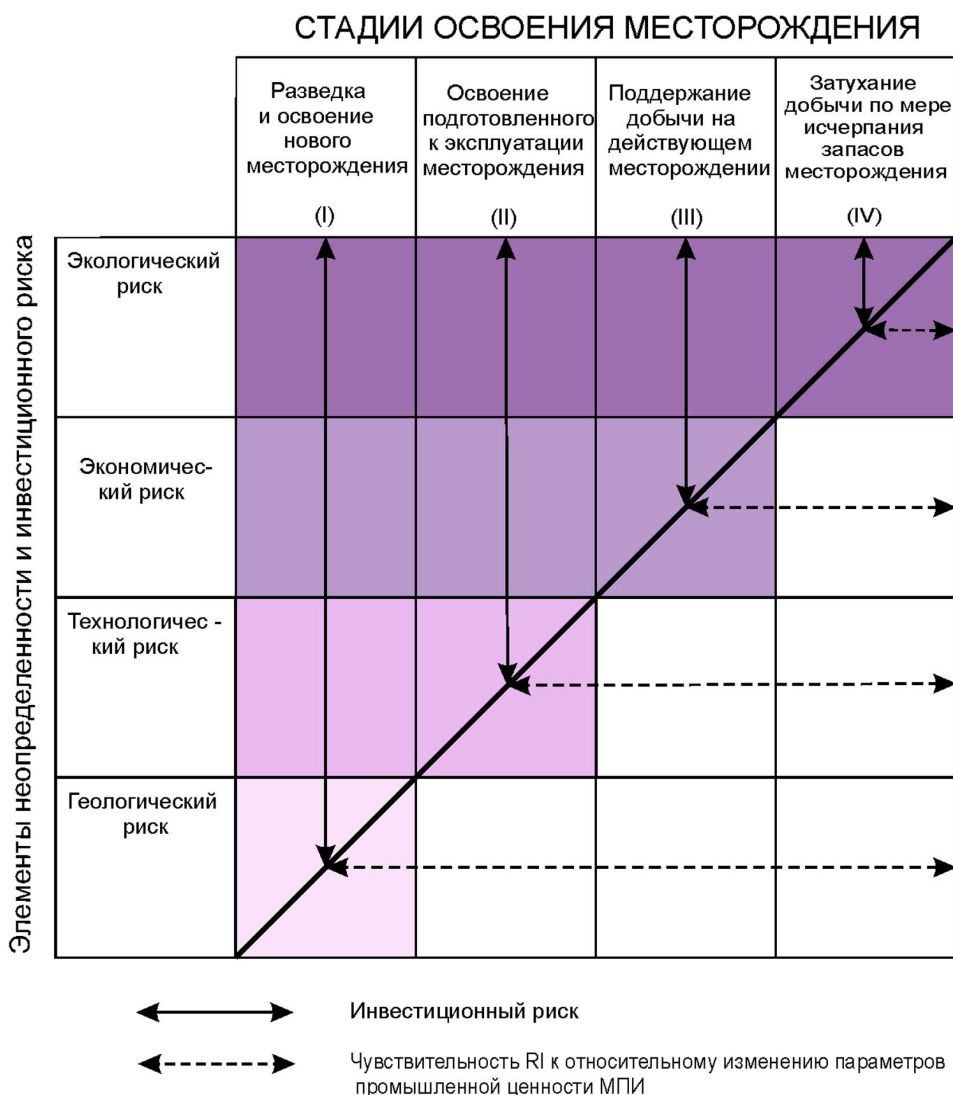


Рис. 1. Принципиальная схема составляющих элементов неопределенности инвестиционного риска на различных стадиях разведки и освоения месторождений

времени) вариант отработки активной, наиболее продуктивной части запасов, тяготеющей к периоду окупаемости инвестиций, практически всегда оказывается более выгодным. Сказывается “эффект нулификации” запасов, предназначенных для отработки в отдаленном будущем. По существу нет различия между дисконтированием инвестиционного риска и дисконтированием значения технологического времени. В то же время детерминированный подход во многом объясняет тенденциозность оценок промышленного потенциала МПИ в том смысле, что в них представляется склонность к экстраполяции на будущее неизменных объемов и издержек добычи, цен на продукцию и на различные виды производственных ресурсов как минимум в реальном времени окупаемости инвестиций. Именно в этот период при составлении календарного графика последовательного вовлечения участков в эксплуатацию и всех сопутствующих этому подготовительных работ превалируют чисто коммерческие интересы. Разница стоимостных и натурально-вещественных показателей при смене фаз календарного графика в этих случаях принимается за экономическую оценку худшего участка. Если эта разница положительна, то участок считается кондиционным.

Особенно важна здесь роль *ставки дисконтирования*, которая задает нижний уровень рентабельности альтернативных технологических вариантов отработки запасов ПИ: затраты на них должно приносить прибыль по крайней мере в размере этой ставки. В терминах экономической динамики, чем выше надбавка за риск в ставке дисконтирования, тем “меньший вес” будут иметь прибыли будущих периодов, которые учитываются при вычислении актуализированной прибыли от эксплуатации МПИ. В связи с этим наблюдается естественное стремление отрабатывать вначале лучшие, наиболее доходные участки МПИ и только потом переходить и более затратно-затратным [1, 9, 13]. Поэтому вполне резонно предположить, что (при

неизменной технологии) предельные издержки добычи в результате перемещения фронта горных работ в пространстве и во времени возрастают по мере добытого ПИ, т. е. в результате сокращения запасов минерального сырья, оставшихся в недрах. Здесь имеется в виду, что процедура конструирования технологических вариантов одновременно эксплуатируемых участков МПИ непосредственно связана с проблемой соотнесения, с одной стороны, дисконтирования по определенной ставке будущих денежных потоков и, с другой стороны, – технико-экономического предела “замыкающих” участков МПИ. Для МПИ, в которых концентрация ПИ не обладает пространственной целостностью и непрерывностью в массиве вмещающих пород, основная ошибка связана с оценкой количества и природного качества активной части запасов МПИ. Под активными понимаются запасы, освоение которых (при исходном способе и технических средствах эксплуатации) возможно с приемлемой рентабельностью в сложившейся на момент оценки экономической ситуации [13]. При этом, естественно, учитываются горнотехнические условия компактного поблочного расположения запасов, подлежащих отработке. Очевидно, что вынужденная (например, по условиям залегания ПИ) первоочередная отработка затратно-затратных (“замыкающих” по предельным затратам на 1 т ПИ) участков может перевести в целом запасы МПИ в разряд условно экономических по критериям конкурентного рынка. В этом случае дисконтирование зачастую просто не успевает отразить переход горных работ на маргинальные, но продуктивные участки МПИ. Оценки инвестиционной привлекательности (эффективности) освоения МПИ нередко оказываются запаса-расточительными, а это может быть оправдано лишь при полной уверенности в том, что рассмотрены все варианты динамики отработки разнокачественных участков, чего на практике конечно не бывает. Роль запасосберегающих корректив в этих случаях заключается в том,

чтобы гарантировать от принятия “жестких” оценок по отношению к невозпроизводимым и исчерпаемым природным ресурсам. Естественно, что оценки таких ресурсов, связанных с необходимостью интенсифицировать отработку более дорогих по издержкам добычи МПИ, должны быть выше, чем избыточных и легкодоступных. Становится понятным, почему в литературе дисконтирование часто обосновывают будущим улучшением технических и экономических возможностей добычи ПИ.

5. Фактор времени и стратегия отработки запасов месторождения

Задача хозяйствования запасами минерального сырья включают время не только как фактор, приводящий их истощению, но главным образом – как информацию об экономических явлениях макроуровня, сопутствующих его добыче и использования. Наиболее типичным трендом является закон динамики оценок исчерпанных ресурсов, предполагающий их экспоненциальный рост во времени [11, 14]. Наличие и темпы этого роста определяются степенью ограниченности и дефицитности того или иного вида минерального сырья. Новый характер приобретает и временная координата сравнения финансовых инвестиций и инвестиций “в запасы”. Если экономическая шкала предпочтений во времени, относящаяся к процессу накопления финансового капитала, такова, что будущие блага оцениваются ниже, чем нынешние, то применительно к природному капиталу направление этой шкалы меняется на противоположное: ценность природных ресурсов со временем растет. В результате динамические рентные эффекты экономически уравнивают условия эксплуатации разнокачественных участков конкретного МПИ, дифференцированных во времени, а не в пространстве, как при статическом рентообразовании. Условие равной для всех периодов дисконтированной прибыли выполняется тогда, когда недисконтированная прибыль в течение времени растет в соответствии с процен-

том на капитал, который принимается в качестве норматива дисконтирования [11, 14]. Здесь результаты дисконтирования будущих прибылей и роста во времени стоимости минерального сырья находятся в равновесии. Логическая основа такого подхода: цена может расти темпом, равным дисконту, или расти медленнее, но соотношение между нею и затратами на добычу минерального сырья (их разница) будет возрастать тем же темпом. Однако в реальности существует множество факторов, препятствующих равновесной траектории добычи, связанных не столько с долгосрочным наличием сырья, сколько с ожиданиями, имеющими временной характер. Среди них [2, 14]:

1. Флуктуация статистического показателя спроса на минеральное сырье в моменты структурных перестроек технологического базиса. Смена его, как правило, обеспечивает расширение доступа экономики к ресурсам либо за счет энерго- и ресурсосберегающей политики уменьшает зависимость от них. Экстраполяция сегодняшнего уровня спроса тем менее надежна, чем далее она заходит в будущее.

2. Изменение затрат на добычу и переработку сырья: увеличение по мере ухудшения природного качества МПИ и/или снижение вследствие применения достижений технического прогресса. Новые технологии добычи и переработки сырья, вовлечение вторичных ресурсов расширяют ресурсную базу и не всегда можно предугадать момент расширения сырьевого потенциала.

3. Первичное природное сырье вытесняется искусственными аналогами и меняется значимость потребностей в сырье, в удовлетворении которых оно участвовало. В этом смысле вполне вероятно, чем выше начальная степень дефицитности природного сырья, тем больше стимулов к его замещению, что, в конечном итоге, уменьшает степень его ограниченности.

4. Понятие заменяемости ресурса включает также и рециклирование (вторичное использование в технологическом процессе отработанного ресурса с целью

регулирования концентрации полезных компонентов в смесях).

С позиций конкурентной экономики переход от невоспроизводимого ресурса к его заменителю происходит тогда, когда издержки производства заменителя перестают превышать издержки производства природного сырья, т. е. когда потребление заменителя по сравнению с разработкой природного сырья становится экономически выгоднее. Это означает, что начальный уровень цен на природное сырье является управляющим параметром, влияющим на изменение производственных затрат на заменитель [2].

Кроме экономической целесообразности, существует множество других факторов, влияющих на стратегию освоения МПИ, например, политические (эмбарго на покупку минерального сырья, замораживание собственного МПИ с целью сохранения стратегического запаса), экологические (желание сберечь окружающую среду накладывает жесткие ограничения на объемы добычи минеральных ресурсов), технологические (текущие резервы сырья способны увеличиваться благодаря использованию более совершенных технологий) и др.

Поэтому ныне действующие представления о балансовой принадлежности запасов не могут служить эталоном устойчивости во времени, скорее всего напротив, именно они должны служить объектом поисков и уточнений, способствующих использованию запасов в физически возможных границах их вскрытия.

Конечно, в зависимости от вида ПИ, каждый из этих путей имеет свои возможности и ограничения на объем, затраты и побочные эффекты. В действительности возможности замены природного сырья или технический прогресс не являются ни полностью реализуемыми, ни абсолютно отсутствующими. К тому же, как правило, они (опять же в разной степени) неизвестны и проявляются в экспертных предположениях и оценках, которые, с одной стороны, свидетельствуют о неоднозначности результатов традиционных

детерминированных расчетов стоимости МПИ, а с другой, “освобождают” лицо, принимающее решение (ЛПР), от анализа границ области изменения результатов оценки под влиянием факторов неопределенности и риска.

Иногда можно сказать лишь то, что те или иные сочетания количественных и/или качественных оценочных параметров, оказывающих наибольшее влияние на промышленную ценность МПИ, невозможны, другие – возможны, а третьи – в большей или меньшей степени вероятны. Последнее обстоятельство играет заметную роль при определении технологической и конъюнктурной гибкости решений, обеспечивающих рентабельное освоение МПИ. Однако в любом случае детерминированный подход имеет существенные объективные ограничения, поскольку в условиях нестационарной конкурентной экономики нельзя достоверно спрогнозировать технологические и стоимостные показатели эксплуатации МПИ на многие годы вперед.

Правильнее было бы считать, что величина риска экономических потерь связана с влиянием труднопредсказуемых или вообще не поддающихся учету факторов рыночной конъюнктуры, часто превосходит угрозы, сопутствующие недооценке или переоценке природного качества запасов минерального сырья и/или погрешностей основных горно-геологических параметров МПИ (участка недр).

Следует заметить, что принципиальная структура принятия решений в условиях неопределенности риска исходной геологической и экономической информации при освоении МПИ часто бывает на практике заслонена многими специфическими деталями учета в той или иной форме фактора времени и что ее не всегда удается ясно вычленивать. Поэтому в том случае, когда субъективные оценки неизбежны, их необходимо осуществлять по единым правилам в возможно более упорядоченной форме, чтобы свести к минимуму влияния недостатка информации. Такие правила и образ действий будут описаны ниже.

6. Методы принятия решений в условиях неопределенности

В области формальной применимости критерии и методы оценки промышленной ценности МПИ в условиях неопределенности (или очень небольшого доверия к оценкам в условиях риска) могут быть сформулированы в терминах теории игр ЛПР с природой [6, 10]. По основным классификационным характеристикам рассматриваемую игру можно отнести к классу *стратегических*, так как:

1) Для макроэкономических решений, определяющих зону безубыточного освоения МПИ, значительно реже существует возможность получения статистической информации о стратегиях природы, т. е. о распределении вероятности ее состояний.

2) Горно-геологические условия разработки и качество ПИ варьируют на разных, нередко достаточно мелких участках МПИ. А это означает, что принятие решений носит часто одноразовый, неповторимый характер.

Наряду с этим в игре наблюдаются также элементы конъюнктурных решений (предпочтения в отношении риска ЛПР) и комбинаторных решений (невозможность заблаговременного перебора и анализа всех возможных состояний природы).

В отличие от стратегической игры с нулевой суммой двух антагонистических противников, результат которой зависит от сознательного поведения или стратегии игроков, природа не выбирает оптимальную для себя стратегию, так как не заинтересована выиграть игру [6]. Однако, хотя природа и является пассивным игроком, ограниченным в выборе наилучшей для себя стратегии, она располагает некоторым механизмом случайного выбора, который реализует складывающиеся стратегии природы, т. е. ее состояния. Некоторые из них могут для ЛПР быть невыгодными в том смысле, что для них риск принимает большее значение, и так как природа в течение некоторого времени не изменяет этот механизм (например, емкости рынка, цен на минерально-сырьевую продукцию), ЛПР наверняка должен иметь в виду не-

сколько состояний природы. Как правило, ими являются состояния, которые ЛПР считает наиболее вероятными.

В зависимости от стадии освоения МПИ (см. рис. 1) состояния (стратегии) природы характеризуют те факторы, которые на протяжении определенного промежутка времени оказывают влияние на относительную эффективность (полезность, надежность и т. д.) избранного решения или имеют характер нарушающих воздействий.

Общая структура принятия решений в условиях неопределенности включает множество стратегий ЛПР и природы и функцию платежей в стратегической игре с нулевой суммой. Пусть N обозначает конечное множество возможных состояний природы $N = \{N_1, \dots, N_j, \dots, N_n\}$. Через $R(a)$ обозначим множество альтернативных решений $R = \{R_1, \dots, R_j, \dots, R_m\}$. Функция платежей $W(N_j, R_i)$, как правило, выражает экономический выигрыш (эффективность), обусловленный решением R_i освоения i -го МПИ ($i = 1, \dots, m$) при состоянии природы $N_j \in N$.

7. Одиночная функция

Чтобы выбрать однозначный и по возможности выгоднейший вариант освоения МПИ ($i = 1, \dots, m$) в случае, когда каждому варианту решения R_i могут соответствовать различные состояния объективных условий $N_j \in N$, т. е. результаты решений r_{ij} , необходимо ввести соответствующую оценочную функцию. Соответствующее состояние природы N_j будет отражать нерегулируемые факторы производства, имеющие отношение к каждому из вариантов R_i . При этом матрица решений сводится к одному столбцу:

$R(a) \backslash N$	N_1	...	N_j	...	N_n
$R(a_1)$	r_{11}	...	r_{1j}	...	r_{1n}
...
$R_i(a_j)$	r_{i1}	...	r_{ij}	...	r_{in}
...
$R_m(a_m)$	r_{m1}	...	r_{mj}	...	r_{mn}

Каждому варианту R_i приписывается, таким образом, некоторый результат r_{ij} , характеризующий все последствия выбранного решения. Предполагается, что каждая пара решений R_1 и R_2 удовлетворяет соотношению предпочтений, т. е. $R_1 > R_2$ (R_1 предпочтительнее R_2) или $R_2 > R_1$, или $R_1 \sim R_2$ (R_1 безразлично по отношению к R_2). Если выбрана полезность $F(R_i)$, выбор решения осуществляется с учетом соотношения предпочтения, т. е. $F(R_1) > F(R_2)$ тогда, когда $R_1 > R_2$ или $R_1 \sim R_2$.

Бывают ситуации, при которых сопоставление эффективности r_{ij} различных решений R_i в матрице $\|r_{ij}\|$ может выродиться в единственный j -й столбец, если будет представлена полная информация о том, с каким состоянием N_j следует считаться. Матрица может свестись к единственной i -й строке, когда в силу ограничений технического или экологического характера, внешних рыночных условий или других причин остается единственный вариант R_i , хотя его реализация зависит от N_j , и поэтому в условиях неполной информации о состояниях природы результат решения остается неизвестным. Если какой-либо вариант R_i доминирует, т. е. выполняются условия

$$r_{ij} \geq r_{ij} \text{ для всех } j = 1, \dots, n \\ \text{и } r_{ij} > r_{ij} \text{ хотя бы для одного } j,$$

тогда даже при отсутствии информации о возможных состояниях природы N_j никакой проблемы относительно принимаемого решения нет. Для всякого N_j вариант R_i – наилучший.

По определению, при оценке МПИ всегда наблюдаются параметры, более или менее неизвестные и требующие, строго говоря, статистического оценивания. Если имеется L таких параметров с n_l возможными значениями для l -го из них, то всего для окружения получается $N = \prod_{l=1}^L n_l$ сочетаний оценочных параметров. Поэтому отбор параметров должен, насколько это возможно, удовлетворять следующим требованиям: 1) число значений параметров должно соответствовать их влиянию

на результат; 2) те из выбранных сочетаний параметров, которые по характеру решаемой задачи маловероятны, должны быть исключены; 3) если влияние того или иного параметра достаточно мало, то неопределенность соответствующего параметра можно для простоты игнорировать и достичь тем самым более высокого уровня информации.

В практических ситуациях влияние возможных сочетаний тех или иных горно-геологических и экономических (стоимостных, натурально-ресурсных) параметров МПИ на результаты решения может быть различным. Ряд параметров оказывает воздействие на оценку в виде прямых технологических ограничений, взаимозавязанных с выбором технических средств добычи и переработки минерального сырья, другие – непосредственно своим влиянием на планирование горных работ и уровень затрат по промышленному использованию запасов ПИ. Оценка промышленной ценности МПИ является результатом сложного взаимодействия этих аспектов. Такие нередко индивидуальные для каждого МПИ особенности производственного использования запасов, как мощность горного и обогатительного производств, потребность в данном сырье, изменение формы рынка, конъюнктурные колебания цен на продукцию и на различные виды ресурсов (основные фонды, трудовые и материальные ресурсы, энергоносители) и т. д. могут вносить важные коррективы в экономическую оценку МПИ (участков недр). Значимость даже тождественных с геологической стороны запасов, с учетом выявляющихся производственно-экономических ограничений, может быть различной. В конкретных случаях это касается инновационных технологий промышленного освоения известных, но до сих пор непривлекательных с точки зрения геологической ситуации участков недр. По указанным аналогичным причинам горно-геологические условия залегания и качество ПИ не дают еще однозначной экономической оценки за-

пасов: они являются исходным условием, которое опосредствуется через конкретные способы производственного использования запасов качественно различных МПИ как определяющих компонентов предельных издержек добычи и цены добытого сырья (либо продуктов его переработки).

Принятие этих принципов предопределяет ряд вытекающих из них требований к количественной оценке функции платежей $W(N_p, R_l)$ относительно (в смысле эффективности) последствий случайной “реализации” природой какой-либо из своих стратегий – состояний N_j . Это относится в первую очередь к затратоёмким состояниям $N_j \in N$, не имеющим оценки качества, по которым неясно, какова, например, степень их предпочтения в категориях “одинаково”, “лучше” или “хуже”.

Проблеме “реализации” природой состояния $N_j \in N$ можно придать содержательную интерпретацию, если матрицу решений $\|r_{ij}\|$ преобразовать в типичные, применительно к определенной технологии, технике и организации производства, взаимно дополняющие друг друга вектора возможных нормированных значений x_l и x_s сочетаний оценочных параметров, характеризующих соответственно:

- природное качество МПИ;
- производственно-потребительскую ценность продукции из минерального сырья.

Так как результаты решения представляются векторами, актуальными оказываются многоцелевые решения.

Комплексные показатели природного качества МПИ (K_l) и потребительской ценности сырья (K_s) определяются следующим образом:

$$K_l = \sum_{l=1}^L x_l \alpha_l, 0 < \alpha_l < 1 \text{ и } \sum_{l=1}^L \alpha_l = 1, \quad (1)$$

$$K_s = \sum_{s=1}^S x_s \alpha_s, 0 < \alpha_s < 1 \text{ и } \sum_{s=1}^S \alpha_s = 1, \quad (2)$$

где x_l, x_s – единичные нормированные параметры состояний природы – природно-

го качества МПИ и рыночной конъюнктуры соответственно;

α_p, α_s – значимость (весомость) каждого единичного параметра.

В основе дальнейшей актуализации элементов матрицы $\|r_{ij}\|$ лежит методологическая посылка о том, что если (x_p, x_s) представляют собой значения параметров, принадлежащих интервалам

$$\left[x_{\max}^{(l,s)}, x_{\min}^{(l,s)} \right], \text{ то им однозначно соответ-}$$

ствуют некоторые нормированные значения, принадлежащие интервалу $[0,1]$. В дальнейшем под значениями x_p, x_s будем понимать их нормированные величины из интервала $[0,1]$. Поскольку $(x_p, x_s) \in [0,1]$, то и K_p, K_s будут, следовательно, нормированными, удовлетворяющие неравенствам $0 \leq [K_p, K_s] \leq 1$.

Из сказанного следует, что поскольку при оценке МПИ совокупная эффективность (полезность) “реализации” природой какого-либо состояния $N_j \in N$ на момент принятия решения складывается из взаимодействующей системы комплексных (нормированных в интервале $[0,1]$) показателей K_l и K_s , то для того, чтобы дать оценку промышленной ценности МПИ в целом, с учетом намечаемой периодики его промышленного освоения, необходимо располагать интегральным (обобщенным) показателем качества МПИ, адекватным состоянию N_j .

С введением интегрального показателя промышленной ценности МПИ, “реализуемого” природой через какое-либо из состояний, эффективность r_{ij} различных решений в матрице $\|r_{ij}\|$ может быть представлена в виде

$$K_{\text{инт}} = \sqrt{K_l} \cdot K_s; \quad 0 < K_{\text{инт}} \leq 1. \quad (3)$$

Интегральный показатель гипотетического базового МПИ $K_{\text{инт}}^0 = 1$. В данном случае неявно предполагается одинаковая полезность показателей K_p, K_s .

В реальной ситуации, в зависимости от класса МПИ и вида ПИ, возможности структуризации соответствующих функций предпочтения нормированных

оценок K_r , K_s должны быть упорядочены с учетом стадии освоения МПИ, в которой принимается решение (см. п. 3). В данном случае, прежде всего, имеется в виду вопрос о соизмерении объективных условий отработки запасов МПИ с учетом неопределенности в отношении, например, параметров залегания и качества ПИ, технологии и динамики издержек и т. п. Такая “прозрачность” оценок K_r и K_s , возможно, сделает решение более взвешенным.

8. Критерий принятия решений, связанных с риском и неопределенностью

Минимаксный критерий (ММ-критерий). Критерий ассоциируется с оценочной функцией $Z_{\text{ММ}}$, соответствующей позиции крайней осторожности. Выбирается то решение, для которого

$$r_{ir} = \min_j r_{ij}, \quad (4)$$

$$Z_{\text{ММ}} = \max_i \left(\min_j r_{ij} \right). \quad (5)$$

Правило выбора решения в соответствии с ММ-критерием:

Матрица решений $\|r_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом из наименьших результатов (полезностей) r_{ir} каждой i -й строки. Выбираются те варианты, в строках которых стоят наибольшие значения r_{ir} .

Выбранные таким образом варианты исключают риск. Это означает, что так как в условиях неопределенности приходится считаться с появлением различных состояний $N_j \in N$, ЛПР не может столкнуться с худшим результатом, чем $Z_{\text{ММ}}$. Для некоторых (технических) задач принятия решений такая стратегия действительно может быть наиболее подходящей [10]. Но для большинства задач доступа экономики к ресурсам минерального сырья нет необходимости применять такую крайне пессимистическую стратегию освоения МПИ, поскольку можно выбрать другую, не предполагающую, что природа, как неразумный противник, стремится выбирать наименее выгодную для ЛПР стратегию.

Критерий минимаксного состояния Сэвиджа (S-критерий). Этот критерий выбора оптимальной стратегии в играх с природой опирается на ММ-критерий, применяемый к матрице $\|r_{ij}\|$, элементы которой выражают последствия ошибочных решений для отдельных состояний природы. Если применительно к данному состоянию природы N_j принять ошибочное решение, то следуя S-критерию, можно говорить о некотором, связанном с этим решением сожалении. Значимость этого сожаления измеряется разницей между наибольшей полезностью, которая достигается при правильном для данного состояния природы решении и полезностью при другом решении. На основе матрицы полезности $\|r_{ij}\|$ можно построить новую матрицу сожалений $\|q_{ij}\|$, к которой можно применить принцип выбора минимаксной стратегии по ММ-критерию.

С помощью обозначений

$$q_{ij} = \max_i r_{ij} - r_{ij}, \quad (6)$$

$$r_{ir} = \max_j q_{ij} = \max_j (\max_i r_{ij} - r_{ij}) \quad (7)$$

формируется оценочная функция, соответствующая позиции относительного пессимизма:

$$Z_s = \min_i r_{ir} = \min_i (\max_j (\max_i r_{ij} - r_{ij})). \quad (8)$$

Величину q_{ij} можно трактовать как максимальный дополнительный выигрыш, который достигается, если в состоянии N_j вместо варианта R_i выбрать другой, оптимальный вариант решения. Можно, однако, интерпретировать q_{ij} и как возможные потери, возникающие в состоянии N_j при замене оптимального варианта на вариант R_i .

Правило выбора решения в соответствии с S-критерием:

Каждый элемент матрицы $\|r_{ij}\|$ вычитается из наибольшего результата $\max_i r_{ij}$ соответствующего столбца. Разности q_{ij} образуют матрицу остатков $\|q_{ij}\|$. Эта матрица пополняется столбцом наибольших разностей r_{ir} . Выбираются те варианты, в строках которых

стоит наименьшее для этого столбца значение.

С точки зрения результатов матрицы $\|r_{ij}\|$ S-критерий связан с риском. Однако с позиции матрицы $\|q_{ij}\|$ он от риска, по определению, свободен. По существу S-критерий является модификацией ММ-критерия, относящейся к функции потерь, которая теперь выражает сожаление в случае ошибочного решения. Действительно, по S-критерию выбирается то решение, для которого

$$\min_{R_i \in R} \max_{N_j \in N} = \max_{R_i \in R} W(N_j, R_i) - W(N_j - R_i).$$

Критерий Байеса-Лапласа (BL-критерий). При построении оценочной функции Z_{MM} каждый вариант решения R_i представлен лишь одним из своих результатов r_{ij} . BL-критерий, напротив, учитывает каждое из возможных состояний природы, влияющих на результат R_i . Положенные в его основу соображения известны как принцип *недостаточного основания*. В соответствии с этим принципом в случае, если вероятности каждого из состояний природы $N_j \in N$ не известны, надо действовать так, если бы каждая из этих вероятностей равнялась при двух состояниях – половине, при трех состояниях – одной трети и т. д. Для BL-критерия имеем

$$r_{iz} = \sum_{j=1}^n r_{ij} \rho_j, \quad (9)$$

$$Z_{BL} = \max_i r_{iz} \wedge \sum_{j=1}^n \rho_j = 1, \quad (10)$$

где ρ_j – вероятность появления состояния N_j .

Правило решения в соответствии с BL-критерием:

Матрица решений $\|r_{ij}\|$ дополняется еще одним столбцом, содержащим математическое ожидание значений каждой из строк. Выбираются те варианты R_i , в строках которых стоит наибольшее значение r_{iz} этого столбца.

При этом предполагается, что вероятности появления состояния N_j известны и не зависят от времени. Исходная позиция

ЛПР, применяющего BL-критерий, оптимистичнее, чем в случае ММ-критерия. Однако она предлагает более высокий уровень информированности, в основе которого положен опыт разведки и эксплуатации МПИ, аналогичных оцениваемому, т. е. при известном из опыта распределении состояний природы.

Критерий Гурвица (HW-критерий). Принцип Гурвица предполагает, что каждый человек, принимающий решение в игре с природой, характеризуется некоторой степенью пессимизма в отношении ожидаемых состояний природы. Показателем пессимизма может быть число, удовлетворяющее неравенству $0 \leq \omega \leq 1$, где $\omega = 0$ соответствует чрезмерному оптимизму, а $\omega = 1$ – крайнему пессимизму. Идея HW-критерия состоит в выборе такого решения, которое максимизирует средневзвешенную величину наименьшей и наибольшей полезности с весами ω и $1 - \omega$.

Выбирается то решение, для которого

$$r_{ir} = \omega \min_j r_{ij} + (1 - \omega) \max_j r_{ij} \wedge 0 \leq \omega \leq 1, \quad (11)$$

$$Z_{HW} = \max_i r_{iz}. \quad (12)$$

Правило выбора решения согласно HW-критерию:

Матрица решений $\|r_{ij}\|$ дополняется столбцом, содержащим средние взвешенные наименьшего и наибольшего результата для каждой строки. Выбираются те варианты, в строках которых стоят наибольшие элементы r_{iz} этого столбца.

Для $\omega = 1$ HW-критерий превращается в ММ-критерий, для $\omega = 0$ он превращается в критерий азартного игрока. Отсюда ясно, какое важное значение имеет весовой множитель ω . Чаще всего весовой множитель $\omega = 0,5$, ассоциируемый с BL-критерием, принимается в качестве некоторой “средней” точки зрения. При основании выбора решения применяют обратный порядок действий. Для приглянувшегося решения субъективно принимается весовой множитель ω как показатель соотношения пессимизма и оптимизма.

9. Применение классических критериев принятия решений в стратегических играх ЛПР с природой (числовой пример)

Из требований, предъявляемых рассматриваемыми критериями к оценке объективных условий добычи (K_1) и потребления (K_2) минерального сырья (продуктов его переработки), участвующих в формировании того или иного уровня промышленной ценности МПИ ($K_{\text{МП}}$), становится очевидным, что вследствие жестких исходных позиций “реализации” природой какого-либо из состояний $N_j \in N$ эти критерии применимы в основном для решений с недетерминированно заданными оценочными параметрами $x_1 \in K_1$, $x_2 \in K_2$, дискретные значения (градации) или кусочно-постоянные величины которых с большей или меньшей долей вероятности подвержены влиянию факторов неопределенности и риска.

Очевидно, что в первую очередь при решении слабоструктуризованных геолого-экономических задач необходимо не только представить в виде количественных эквивалентов (оценок) ту часть информации, которая с содержательной и/или формальной точки зрения не поддается количественному измерению, и не только выразить с помощью аналогичных оценок влияние измеримой информации, о которой у ЛПР нет достаточно надежных эмпирических данных, но и, что самое важное, упорядочить эту информацию так, чтобы помочь ЛПР выбрать из множества альтернатив (см. п. 2) наиболее предпочтительные в отношении технологических и производственных схем эксплуатации МПИ. Такой подход позволяет, во-первых, лучше проникнуть во все внутренние связи проблемы принятия решений и, во-вторых, ослабляет влияние субъективного фактора.

Выбор решения по классическим критериям проиллюстрируем следующим примером.

Начнем с рассмотрения ситуации, в отношении которой заведомо известно, что она соответствует условиям неопреде-

ленности или очень небольшого доверия к оценкам в условиях риска (см. п. 1, б). Кроме того, предполагается, что к вопросу имеет отношение по меньшей мере два состояния объективных условий. Неопределенность возможной “реализации” природой какого-либо из этих состояний описывается с помощью некоторого (априорного) интервала $[\check{K}_{\text{МП}}, \hat{K}_{\text{МП}}]$. Матрицей решений $\|r_{ij}\|$, приведенной ниже, представлена задача, в которой ЛПР необходимо отранжировать МПИ по степени инвестиционной привлекательности и последующего использования результатов оценки при лицензировании недропользования:

$$\|r_{ij}\| =$$

	N_1	N_2
R_1	0,44	0,70
R_2	0,50	0,60
R_3	0,35	0,80

С целью возможности графической интерпретации результаты r_{ij} в таблицах увеличены в 10 раз.

Из предыдущего видно, что основные трудности количественной оценки эффективности МПИ обусловлены тем, что ее приходится строить на частном эмпирическом материале и заранее неизвестно, как она изменится, если ее получать на другом материале. Поэтому эти оценки условны и в основном пригодны для использования в качестве “системы раннего предупреждения” факторов неопределенности и риска (табл. 1 и 2).

Теперь обобщим полученные результаты. Пример сознательно выбран так, что каждый критерий предлагает новое решение. Неопределенность “реализации” природой состояний N_1 или N_2 превращается теперь в отсутствие ясности, какому же критерию следовать. Там не менее каждый из критериев можно считать разумным. Но каким же образом можно прийти к разным решениям, если задача проанализирована рационально. Дело в том, что каждый критерий базируется на ресурсно-экономических проблемах освоения МПИ в условиях рыночной экономики, но в основе различных

Таблица 1. Варианты решения в случае “реализации” природой состояний N_1 и N_2 и их оценки ($\times 10$) согласно ММ и ВЛ-критериям для $p = 0,5$

	N_1	N_2	ММ-критерий		ВЛ-критерий	
			$r_{ir} = \min_j r_{ij}$	$\max_i r_{ir}$	$r_{ir} = \sum_j r_{ij} p_i$	$\max_i r_{ir}$
R_1	4,4	7,0	4,4		5,7	
R_2	5,0	6,0	5,0	5,0	5,5	
R_3	3,5	8,0	3,5		5,75	5,75

Таблица 2. Матрица остатков $\|q_{ij}\|$ и их оценки ($\times 10$) согласно S-критерию

	N_1	N_2	S-критерий	
			$r_{ir} = \max_j q_{ij}$	$\min_i r_{ir}$
R_1	0,6	1,0	1,0	1,0
R_2	0	2,0	2,0	
R_3	1,5	0	1,5	

классов МПИ и видов ПИ лежат разные системы ценностей. В этой области взаимодействуют цели и точки зрения и не существует объективного способа выбрать какую-либо одну рациональную процедуру, которую можно было бы предпочесть всем остальным. Это можно понять, анализируя смысл критерия Байеса-Лапласа.

На рис. 2 показано, что случится, если ЛПР откажется от условия равновероятности, связанного с принципом недостаточного основания. Путь N_1 возникает с вероятностью p_1 и N_2 с вероятностью $p_2 = 1 - p_1$.

На рисунке отображено, как изменится решение по мере того, как увеличивается значение p_1 от нуля до единицы. Нижняя граница заштрихованной площади на диаграмме соответствует максимально ожидаемым преимуществам, которые можно получить при различных уровнях вероятностей возникновения состояний природы. Мы видим, что при $p_1 \leq 0,5$ отрезок R_3 оказывается наверху и соответственно следует выбрать решение R_3 . Если $0,625 \geq p_1 \geq 0,5$, господствующее положение занимает решение R_1 . Для случая, когда $p_1 \geq 0,625$, наибольшее математическое ожидание полезностей приносит решение R_2 .

В результате этого анализа выясняется, в частности, тот факт, что поскольку ММ-критерий приводит к выбору решения R_2 , он приписывает вероятности p_1 значение $p_1 \geq 0,625$. ЛПР, выбрав R_2 , в действительности поступает не так, как если бы он находился в условиях неопределенности. Наоборот, поведение ЛПР указывает на предположение (хотя и идеализированное), что состояние объективных условий N_1 возникает с большей вероятностью, чем N_2 . Можно предположить, что руководствуясь каждым из критериев, ЛПР придает определенное значение вероятности возникновения состояний природы уже самим фактом избрания определенной стратегии. Так, пессимистическая точка зрения в некотором смысле равносильна предположению, что возникновение N_2 не так вероятно, как возникновение N_1 . В общем всякое решение, отклоняющееся от критерия равной вероятности, означает, что в отношении выбора решений принята некоторая политика, воплощающая определенную точку зрения, и это в свою очередь означает, что *настоящей* неопределенности по тем или иным причинам не существует. Хотя в данном случае вероятности в теоретически безупречном виде нельзя ни установить, ни измерить, важно все же

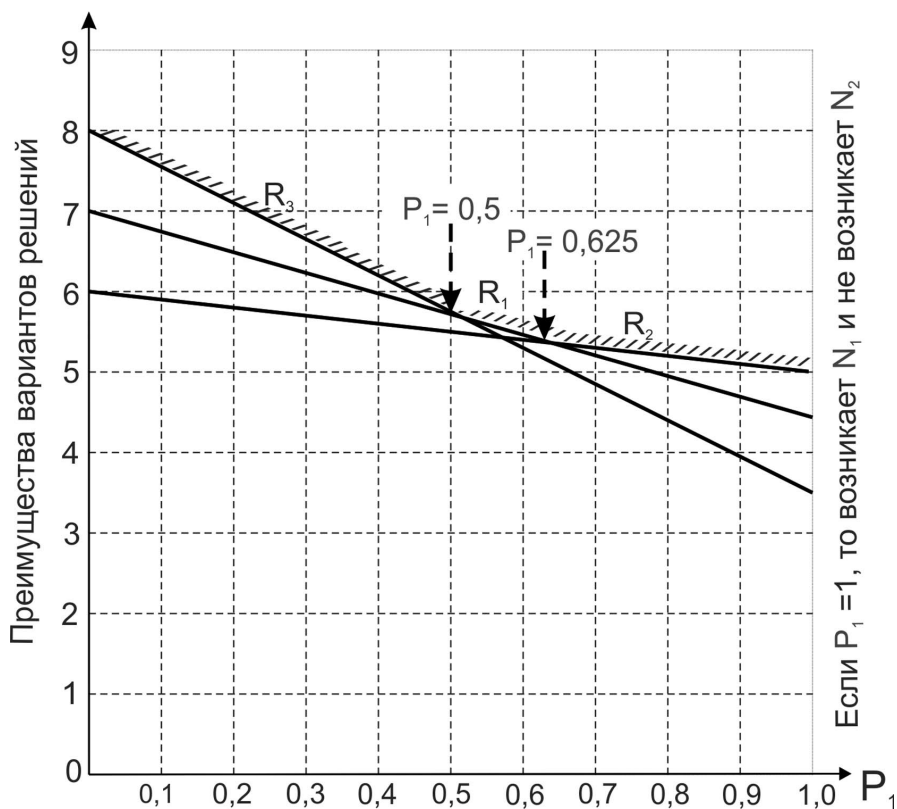


Рис. 2. Вероятности, принимаемые вопреки неопределенности состояний N_1 и N_2 в зависимости от точки зрения ЛПР

ответить на вопрос: что приходит сначала – точка зрения ЛПР, подразумевающая вероятность, или интуитивная оценка вероятностей, обуславливающая точку зрения.

Полноценный анализ этой проблемы, конечно, выходит за рамки данной статьи, имеющей вводный в проблему характер. Поэтому мы ограничились здесь лишь некоторыми выборочными объяснениями, почти в равной мере применимыми и к задачам выбора решений в задачах, связанных с риском.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ампилов Ю. П. Экономическая геология/Ю. П. Ампилов, А. А. Герт. М.: Геоинформмарк, 2006. 329 с.
2. Арбатов А. А. О стратегии использования минерального сырья/А. А. Арбатов, Е. Б. Струкова//Экономика и математические методы. Т. 27. 1991. С. 686–698.

3. Астахов А. С. Экономическая оценка запасов полезных ископаемых. Москва: Недра, 1981. 287 с.

4. Воронин Ю. А. Исследования операций при поисках и разведке месторождений. Новосибирск: Наука, 1983. 253 с.

5. Гостевский А. Об оценке рисков горного проекта/А. Гостевский, М. С. Шумилин// Минеральные ресурсы России. Эконом. и управление. № 3. 2001. С. 46–51.

6. Грень Е. Статистические игры и их применение. М.: Статистика, 1975. 175 с.

7. Класифікація запасів і ресурсів корисних копалин державного фонду надр, зат. пост. Каб. Мін. України від 5.05.1997 р. № 432.

8. Конопляник А. А. Риск иностранных инвестиций в энергосырьевых отраслях России// Мин. ресурсы России. Эконом. и управление. № 3. 1995. С. 18–22.

9. Марголин А. М. Оценка запасов минерального сырья – математические методы. М.: Недра, 1974. 264 с.

10. Мушник Э. Методы принятия технических решений/Э. Мушник, П. Мюллер. М.: Мир, 1990. 208 с.

11. Хотеллинг Х. Экономика природных ресурсов. СПб: Экономическая школа, 2000. С. 262–303.

12. Чайников В. В. Учет риска в ставке дисконтирования при оценке инвестиций в освоение месторождений/В. В. Чайников, Д. Г. Ла-

пин//Маркшейдерия и недропользование. № 5. 2006. С. 29–33.

13. Шумилин М. В. Геолого-экономические основы горного бизнеса//Минеральное сырье. № 3. 1998. 168 с.

14. Эндерс А. Экономика природных ресурсов/А. Эндерс, Н. Квернер. М.: Питер, 2004. 256 с.

Рукопис отримано 17.03.2014.

О. В. Зур'ян, О. І. Левченко

ДО ПИТАННЯ ВРАХУВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ Й РИЗИКУ В ГЕОЛОГО-ЕКОНОМІЧНОМУ АНАЛІЗІ ТА ВАРТІСНІЙ ОЦІНЦІ РОДОВИЩ

Висвітлені існуючі підходи до понять невизначеності й ризику. Викладені на основі теорії стратегічних ігор критерії вибору рішень з урахуванням невизначеності стосовно геологічних і економічних параметрів промислової цінності родовищ корисних копалин. Наведено наочний приклад.

Ключові слова: фактори невизначеності та ризику, геолого-економічний аналіз, вартісна оцінка, геологічні та економічні параметри, родовище, ділянка надр.

O. V. Zurian, O. I. Levchenko

ON THE QUESTION OF ACCOUNTING FOR UNCERTAINTY AND RISK IN THE GEOLOGICAL-ECONOMIC ANALYSIS AND EVALUATION OF THE DEPOSITS COST

The article highlights the existing approaches to the concepts of uncertainty and risk. Presented based on the theory of strategic games selection criteria of decision taking into account the uncertainty about the geological and economic parameters of the commercial value of mineral deposits. The author cited a numerical example.

Keywords: factors of uncertainty and risk, geological and economic analysis, cost and economic assessment, geological and economic parameters, deposit, the subsurface area.