

УДК 669.01

В.А. Салихов

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ (СТОИМОСТНАЯ) ОЦЕНКА ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ, СОДЕРЖАЩИХСЯ В УГЛЯХ И ЗОЛО-ШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ УГЛЕЙ

Рассмотрены закономерности распределения цветных и редких металлов, содержащихся в угольных месторождениях Кузбасса и золо-шлаковых отходах углей, накапливаемых на территории энергетических предприятий Кемеровской области. Обоснованы критерии и разработана поэтапная методика геолого-экономической и экономической (стоимостной) оценки металлов в углях и золах углей.

Ключевые слова: месторождения, угли, золо-шлаковые отходы углей, цветные и редкие металлы, геолого-экономическая и экономическая (стоимостная) оценка.

Интенсивная добыча полезных ископаемых, осуществляемая в настоящее время и в мире и в России, приводит к истощению запасов и снижению качества минерального сырья. Кроме того, ухудшаются горно-геологические и экономико-географические условия эксплуатации месторождений. В результате наблюдается истощение балансовых запасов месторождений многих цветных и редких металлов (свинец, цинк, титан, цирконий, скандий и др.). В связи с этим ощущается дефицит минерального сырья для цветной металлургии и для ряда других отраслей промышленности: атомной, электронной, авиационной, космической и т.д.

Открытие и ввод в эксплуатацию новых месторождений требуют вложения значительных средств на проведение геолого-разведочных работ (ГРП). При этом многие ведущие мировые горно-геологические компании снижают финансирование ГРП. Вновь открываемые месторождения, как правило, расположены в отдаленных районах с неблагоприятными экономико-географическими и природно-климатическими условиями. Все эти обстоятельства значительно повышают затраты по добыче, переработке и транспортировке минерального сырья, а также влияют на цену готовой продукции (металлов и металлопродукции).

Таким образом, многие ранее разведанные месторождения с балансовыми запасами в условиях рыночной экономики и конкурентных рынков минерального сырья (внутренних и мировых) становятся низкорентабельными и даже нерентабельными. По этой причине уменьшается доля активных запасов и по большинству видов металлических ископаемых. Кроме того, на прост запасов влияет снижение объемов ГРП, что особенно характерно на современном этапе для РФ. Например, к 2008 г. объемы основных видов ГРП сократились в 4–10 раз. Затем, в условиях мирового кризиса, объем ГРП в РФ сократился еще на треть. Поэтому сейчас восполнение запасов происходит главным образом за счет доразведки и переоценки ранее открытых месторождений.

Проблема обеспечения промышленности цветными и редкими металлами в РФ усугубляется из-за сложной социально-экономической ситуации. По потреблению металлов, особенно редких, Россия значительно отстает от развитых стран. При этом по мере стабилизации и роста экономики страны ожидается, что в период до 2020 г. рост потребности металлургических предприятий России в сырье будет обусловлен прежде всего увеличением спроса на металлопродукцию на внутреннем рынке (вследствие ожидаемого оживления производства в отраслях-металлопотребителях), при сравнительно стабильных объемах экспорта. При этом рост внутреннего потребления металлопродукции и ее экспорта возможен при поставках продукции так называемого четвертого передела (например, обработка цветных металлов, твердосплавная металлургия и т.д.).

Намечающийся рост производства в РФ подтверждает остроту и актуальность проблемы снабжения промышленности дефицитными металлами и предполагает увеличение мероприятий по комплексному использованию руд, а также по эксплуатации техногенных месторождений. Поэтому становится актуальной проблема совершенствования экономической оценки комплексных и техногенных месторождений.

Комплексное использование минерального сырья предполагает предварительную технолого-экономическую оценку и составление проекта комплексного освоения конкретного месторождения (например, техногенного). Подсчет полезных компонентов производится с помощью «Требований к комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов». В современной редакции «Требований ...» попутные полезные ископаемые и компоненты подразделены на три группы [1. С. 4]. В первую группу входят твердые полезные ископаемые, образующие самостоятельные рудные тела и залежи в породах, вмещающих основное полезное ископаемое; жидкие полезные ископаемые (подземные воды); газовые попутные компоненты (например, метан угольных пластов). Во вторую группу включены попутные компоненты, которые не образуют самостоятельные залежи; компоненты, заключенные в нефти и горючих газах, которые при сепарации выделяются в самостоятельные продукты. В третью группу входят примеси в минералах основных и попутных компонентов (две группы), а также органические, металлические и металлоорганические соединения в углях, металлы в нефти, горючих газах и в подземных промышленных водах.

Комплексная геолого-экономическая оценка месторождений, основанная на учете основных и попутных полезных компонентов, существенно повышает экономический потенциал разведанных запасов, позволяет вести их рациональную разработку, а также способствует введению в эксплуатацию малорентабельных месторождений. Тем не менее при разведке месторождений далеко не всегда проводится комплексная оценка попутных полезных компонентов или она проводится не в полном объеме. При этом к настоящему времени накоплен достаточный объем информации, позволяющей говорить о перспективности использования многих попутных полезных ископаемых и попутных полезных компонентов или одновременно с добычей основного полезного ископаемого или из отвалов, т.е. из техногенных месторождений.

Геолого-экономическая оценка попутных полезных ископаемых и попутных полезных компонентов должна проводиться на всех стадиях ГРП и в процессе освоения месторождения. При поисково-оценочных работах должно проводиться выявление попутных полезных ископаемых и попутных компонентов и предварительная оценка их промышленного значения, на стадии разведки – окончательная геолого-экономическая оценка. Изучение попутных полезных ископаемых и попутных компонентов должно проводиться в границах разведки основных полезных ископаемых [1. С. 3]. При этом запасы попутных полезных ископаемых подсчитываются в соответствии с установленными кондициями одновременно с подсчетом запасов основных полезных ископаемых. Подсчету подлежат запасы попутных полезных ископаемых в недрах, без вычета потерь при добыче, обогащении и переработке. Попутные полезные компоненты имеют промышленное значение, если степень их концентрации в продуктах обогащения, металлургического или химического перелоа, а также технология последующей переработки данных продуктов обеспечивают извлечение этих компонентов на экономически рациональной основе. Степень концентрации попутных компонентов в указанных продуктах зависит от их содержания, характера распределения и формы нахождения в полезном ископаемом и поведения в процессе обогащения и последующего перелоа [1. С. 8].

Эти компоненты получают самостоятельную геолого-экономическую оценку, в зависимости от которой в соответствии с Классификацией запасов определяется их балансовая принадлежность и целесообразность государственного учета. В настоящее время Государственным балансом оценены техногенные месторождения по многим видам металлических полезных ископаемых: золотосодержащие (100), оловянные (18), железорудные (17), медные (7), вольфрамовые (6). В количестве от 1 до 4 учтены техногенные месторождения платиноидов, молибдена, хрома, мышьяка, свинца, цинка, циркония, бокситов, редкоземельных и рассеянных металлов. Учтенные месторождения представлены рудоносными отвалами, сформированными при разрааботке коренных месторождений, хвосто- и шламоохранилищами при ГОКах, шлакоотвалами металлургических предприятий, хвостами обогащения россыпей, золоотвалами энергетических предприятий [2. С. 18].

Одним из перспективных источников металлов являются угли Кузбасса, содержащие в повышенных концентрациях такие ценные металлы, как ванадий, вольфрам, галлий, германий, скандий, титан, цирконий, иттрий. Высокие содержания в углях этих металлов отмечены многими исследователями [3. С. 192; 4. С. 211; 5. С. 450]. При этом часто отмечается приуроченность повышенных концентраций металлов в углях к участкам тектонической нарушенности пластов в угольных бассейнах геосинклинального типа, таких как Кузбасс. Проведенные автором исследования на угольных месторождениях Кузбасса подтвердили эти данные. Содержания в углях германия, галлия, ванадия, вольфрама, особенно в зонах тектонической нарушенности, достигают десятков грамм на тонну, а содержания титана и циркония – сотен грамм на тонну [3. С. 192]. Согласно применяемому «Требованиям...» эти металлы можно отнести к полезным компонентам третьей группы.

Геолого-экономическая оценка отходов добычи и переработки минерального сырья или техногенных месторождений предполагает использование тех же параметров, что и оценка традиционных месторождений, но с учетом специфики исследуемых объектов. Геолого-экономическая оценка месторождений полезных ископаемых включает, как известно, геологическое, горно-техническое и экономическое обоснование кондиций.

Геологическое обоснование предполагает в основном характеристику морфологии рудных тел или особенности распределения полезного ископаемого во вмещающих породах, а горно-техническое – обоснование рациональных способов отработки месторождения. Экономическое обоснование, включая соответствующие расчеты, является результатом всех проведенных на месторождении горно-геологических исследований. Расчеты экономического обоснования проектов по эксплуатации месторождений основаны на определении экономического эффекта путем сопоставления прогнозируемых интегральных доходов и затрат с учетом коэффициента дисконтирования, ситуации на рынках минерального сырья, неопределенностей и рисков при реализации проекта [6. С. 2–10]. Проводимая в условиях плановой экономики геолого-промышленная оценка месторождений полезных ископаемых предполагала оценку экономического эффекта от эксплуатации месторождения с учетом оптовых цен на минеральное сырье. Вопросы продвижения минеральной продукции потребителям рассматривались в общих чертах с учетом технологических направлений их использования, но при этом предполагалось комплексное и рациональное использование минерального сырья. В условиях рыночной экономики должна проводиться геолого-экономическая оценка месторождений, а затем экономическая оценка проектов по разработке месторождений. Особое внимание должно уделяться вопросам продвижения минеральной продукции на конкурентные рынки.

При проведении геолого-экономической оценки комплексных и техногенных месторождений особое внимание должно уделяться также специфическим особенностям распределения попутных полезных компонентов в комплексных рудах и техногенных минеральных отходах. Например (при оценке комплексных германий-угольных месторождений), содержания германия подсчитываются при валовой выемке германиеносных углей по минимальным содержаниям металла в подсчетном блоке, шахтопласте. При селективной выемке обогащенных германием частей угольного пласта оценивается минимальная мощность этих частей, а также минимальные содержания германия в краевых пробах для оконтуривания этих частей пласта [7. С. 42]. Кроме того, экономическая эффективность его извлечения устанавливается технико-экономическими расчетами, учитывающими затраты на строительство цехов или установок и на селективную выемку углей с учетом опыта извлечения германия на других предприятиях. При оценке комплексных угольных и техногенных (золотоотвалы энергетических предприятий) месторождений необходимо также всесторонне исследовать весь спектр цветных и редких металлов, которые могут быть востребованы в промышленности.

Рекомендации международной рамочной классификации ООН «запасы/ресурсы» также содержат требования, согласно которым полезные ископаемые (в том числе и техногенные ресурсы) оцениваются с точки зрения

степени геологической изученности, экономической эффективности технологий их извлечения, а также с точки зрения оценки рынка (наличия спроса на эту минеральную продукцию и пр.) [8. С. 84–85]. В результате разнородные классификации запасов/ресурсов, применяемые в разных странах, сводятся воедино, а запасы и ресурсы месторождений полезных ископаемых подразделяются на экономические, потенциально экономические и возможно экономические.

В целом для выявления перспективных комплексных и техногенных месторождений и определения их народно-хозяйственной значимости, в том числе и на перспективу, должны совместно проводиться геолого-экономическая оценка и экономическая (стоимостная) оценка этих месторождений. Для эффективной оценки и выявления наиболее перспективных объектов необходимо разработать методологические подходы и последовательную методическую схему, позволяющие оценивать все параметры объектов и все факторы, влияющие на объекты, в комплексе

Например, при вводе в разработку техногенных месторождений немаловажным фактором является улучшение экологической обстановки за счет уменьшения площади отвалов минерального сырья, отравляющих окружающую природную среду. При этом сохраняется нетронутой природа в тех районах, где разведаны и намечены к отработке новые рудные месторождения. В этом случае экономическая стоимость техногенного месторождения возрастает за счет получения экологического, а также социального эффекта (например, создание рабочих мест по проекту). Значительным может быть и косвенный эффект, образующийся из-за сокращения затрат на проведение геолого-разведочных работ, а также из-за снижения затрат на добычу, обогащение и получение того же ряда и того же объема цветных и редких металлов, т.е. из-за меньших объемов капитальных и эксплуатационных затрат. При этом объем извлекаемых металлов может быть меньше, а их спектр гораздо шире, чем на рудных комплексных месторождениях, что делает проект по разработке техногенного месторождения более устойчивым за счет возможности реализации всего объема разнообразной минеральной продукции.

Таким образом, можно предложить следующие критерии геолого-экономической оценки запасов цветных и редких металлов в углях и золошлаковых отходах углей:

1. Балансовые запасы (степень геологической изученности). В целом запасы твердых полезных ископаемых подразделяются по степени их изученности на категории А, В, C_1 и C_2 . Запасы первых трех категорий относятся к балансовым, запасы категории C_2 – к забалансовым. Запасы категории А полностью характеризуют показатели месторождения в соответствии с требованиями кондиций. Запасы категории В должны близко удовлетворять указанным для категории А требованиям. Запасы категории C_1 имеют более низкую достоверность, чем запасы категории В, но изучаются в степени, достаточной для определения их промышленной ценности. Запасы категории C_2 определяют по единичным горным выработкам и буровым скважинам, заверяющим геофизические и геохимические аномалии.

Прогнозные ресурсы P_1 оцениваются, как правило, на флангах эксплуатируемых месторождений и учитывают возможность прироста запасов за счет

расширения площади разведки за контуры запасов категории C_2 . Прогнозные ресурсы категории P_2 характеризуют возможность обнаружения новых месторождений на основе выявленных проявлений минерального сырья, геофизических аномалий и единичных горных выработок. Количественная оценка прогнозных ресурсов категории P_2 осуществляется по предварительным параметрам по аналогии с известными месторождениями. Прогнозные ресурсы категории P_3 позволяют оценить потенциальные возможности наличия новых промышленных месторождений по общегеологическим предпосылкам [9. С. 11–12].

Запасы попутных компонентов второй и третьей групп подсчитываются раздельно (по категории не ниже C_1 , но в случае неравномерного распределения при возможности промышленного извлечения – по категории C_2) в контурах балансовых (A, B, C_1) и забалансовых (C_2) запасов содержащих их полезных ископаемых, а также в отходах основного производства.

Ценные металлы в углях Кузбасса чаще бывают оценены по категории P_1 . После проведения геолого-разведочных работ возможна их оценка по категориям C_1 и C_2 . В углях повышенные содержания металлов приурочены к тектоническим нарушениям пластов. Извлечение металлов в этих участках возможно в том случае, если их содержания близки к кондиционным содержаниям для рудных месторождений. Следует отметить, что большая часть ценных металлов накапливается в золах, где их содержание выше в 5–10 раз, чем в углях [3. С. 191]. К тому же большинство разработанных технологий извлечения ценных попутных компонентов предназначено для извлечения металлов из золо-шлаковых отходов. Металлы, такие как германий, ванадий, вольфрам и ряд других, могут также легко улавливаться фильтрами при сжигании углей на энергетических предприятиях. Это дает и экологический эффект, так как многие цветные и редкие металлы токсичны (например, мышьяк, висмут, ртуть). Ценные металлы извлекают и из самих углей, такие, например, как германий и уран, но их содержания в углях Кузбасса не кондиционны. Наибольший интерес представляют золоотвалы энергетических предприятий, расположенные на территории Кемеровской области.

В целом для золоотвалов должно определяться минимальное содержание металлов ($C_{\min}$), позволяющее определить рентабельность их извлечения. При комплексном извлечении металлов на первом этапе должно определяться содержание металла с самым высоким содержанием. Для пересчета содержаний остальных металлов в содержание основного рассчитывают пересчетные коэффициенты (K_{i0}), определяемые по формуле

$$K_{i0} = (C_i \times K_i) / (C_0 \times K_0), \quad (1)$$

где K_{i0} – коэффициент пересчета содержаний i -го компонента в основной, доли ед.; C_i – цена готовой продукции i -го компонента, кг / руб.; C_0 – цена готовой продукции основного компонента, кг / руб.; K_i – коэффициент извлечения i -го компонента в готовый продукт, доли ед.; K_0 – коэффициент извлечения основного компонента в готовый продукт, доли ед.

Затем рассчитывается содержание условного металла (C_y):

$$C_y = C_0 + C_1 \times K_{10} + C_2 \times K_{20} + C_1 \times K_{10} + \dots \quad (2)$$

где C_0 – содержание основного компонента, %; C_1, C_2 – содержание прочих компонентов, %; K_{10}, K_{20}, K_{10} – коэффициенты пересчета содержаний прочих компонентов в содержание основного.

С учетом прогнозируемой средней цены на 1 кг, т условного металла (C_{MY}), затрат на получение условного металла (Z_{MY}), коэффициента извлечения условного металла из концентрата ($K_{ИУ}$) и коэффициента его разубоживания при получении концентрата (K_{PY}) определяется минимальное содержание условного металла ($C_{MIN Y}$), обеспечивающее как минимум нулевую рентабельность по проекту:

$$C_{MIN Y} = Z_{MY} / (C_{MY} \times K_{ИУ} \times (1 - K_{PY})) \times 100\%. \quad (3)$$

Аналогично рассчитывается C_{MIN} для каждого металла. Металлы с низким содержанием и высокой себестоимостью получения могут извлекаться в комплексе с остальными. Реализация нерентабельных металлов зависит от роста спроса и цен на них.

2. Промышленные, рентабельные технологии, позволяющие комплексно и рационально извлекать максимум металлов с учетом экологических требований (полная ликвидация отвалов, содержание вредных и токсичных металлов в переработанной золе и продуктах ее переработки не выше ПДК). В целом эффективность разработки техногенных месторождений следует оценивать с помощью дифференцированной (горной) ренты I (в первую очередь в сравнении с рудными месторождениями) и II (в сравнении методов извлечения металлов из техногенных месторождений).

Основными экономическими показателями, определяющими сумму дифференциальной горной ренты I, являются: снижение себестоимости (экономика) на лучших месторождениях по сравнению с худшими месторождениями; сумма дополнительной прибыли, полученной за счет лучшего качества сырья и расположения месторождения.

Экономическими показателями формирования дифференцированной горной ренты II являются: стоимость основных производственных фондов: уровень технической вооруженности труда; величина производственных инвестиций.

Кроме того, при оценке техногенных месторождений должно учитываться то обстоятельство, что эти месторождения, в отличие от рудных, пополняются за счет отходов основного производства, т.е. не истощаются. Это позволяет предприятию получать дополнительный доход в более поздние периоды времени (динамическая рента). Возможность продавать редкие металлы по высоким (монопольным) ценам дает монопольную ренту.

Для оценки величины ренты и ее влияния на эффективность (рентабельность) эксплуатации месторождений (рудных и техногенных), т.е. для оценки рентабельности проектов по разработке месторождений, рассматриваются предельные затраты на разработку.

Разница между предельными и индивидуальными затратами является дифференциальным рентным доходом. Сопоставление возможного объема выручки и затрат позволяет определить экономический эффект от разработки месторождений и обосновать выбор оптимального варианта. При этом определяются удельные затраты на 1 кг, т металла и удельный экономический эффект как отношение экономического эффекта к выручке [10. С. 398].

Окончательная оценка эффективности работы предприятия по переработке техногенных месторождений в условиях переменных цен и инфляции будет проводиться с помощью показателей рентабельности. Коэффициенты рентабельности рассчитываются как отношение полученной балансовой или чистой прибыли к затраченным средствам или объему реализованной продукции, к стоимости имущества предприятия (основных и оборотных средств), собственного или заемного капитала, а также как отношение прибыли от реализации продукции к затратам на ее производство и реализацию.

Таким образом, предприятие выбирает наиболее перспективный объект (месторождение) и наиболее эффективный способ его разработки. В этом случае должна проводиться экономическая оценка проектов по их разработке, основанная на определении стоимости месторождения в сравнении с альтернативными вариантами. Выбор оптимального проекта проводится на основе предельных или замыкающих затрат на данное минеральное сырье в сравнении с индивидуальными затратами на извлечение цветных и редких металлов оцениваемого техногенного месторождения (дифференциальный рентный доход). Потенциальная значимость и стоимость этих месторождений определяются с учетом перспективного спроса и дефицитности металлов, что позволяет согласно рамочной классификации ООН «запасы/ресурсы» установить экономическую категорию запасов и направления оптимизации их использования, т.е. извлечение по возможности всех попутных компонентов за счет рациональных технологических схем.

3. Экономический критерий, включающий анализ цен, спроса / предложения на металлы, условий продаж и т.д. Следует учитывать, что цены на цветные и редкие металлы (как и на другую продукцию) снижаются из-за падения спроса на них. При этом цены на металлы могут стать ниже себестоимости их получения, т.е. вслед за потреблением снижается их производство. Это продолжается до тех пор, пока предприятия-потребители не израсходуют свои запасы редких металлов. После этого начинает расти спрос на металлы, когда цены на них достигают приемлемого уровня, на предприятиях-производителях начинается рост производства.

Эти обстоятельства особенно важны для нового предприятия, выходящего на рынки редких металлов. Учитывая высокие барьеры входа на рынок (в первую очередь из-за ограниченных объемов потребления металлов), новому предприятию необходимо по возможности ориентироваться на местные рынки (так называемые спот-рынки). При этом следует иметь в виду угрозу появления других производителей металлов, которые могут их продавать по более низким ценам – в несколько раз ниже средних. Оценка коммерческих и финансовых рисков при реализации проекта позволяет предусмотреть динамику цен и возможные действия конкурентов, определить объемы необходимых инвестиций и порядок распределения финансовых ресурсов.

Кроме предлагаемых критериев, при проведении геолого-экономической оценки ценных металлов необходимо также учитывать экологический, социальный и косвенный показатели проекта как стимулы для извлечения ценных цветных и редких металлов.

4. Экономическая оценка проекта по извлечению ценных металлов из углей и их золо-шлаковых отходов, которая должна начинаться с оценки содержаний и запасов металлов в исследуемых объектах, что позволит определить возможные объемы производства и реализации металлопродукции и другие экономические показатели проекта. При оценке попутных компонентов углей согласно требованиям методических рекомендаций из всей группы цветных и редких металлов в настоящее время рассчитывается минимальное промышленное содержание только для германия. Для ряда других металлов установлены достаточно высокие требования к их содержанию в углях. В общем эти металлы рассматриваются как объекты попутной или самостоятельной добычи, т.е. проводящейся независимо от отработки угля. В последнем случае оценка металлов проводится в соответствии с требованиями к самостоятельным месторождениям соответствующего вида минерального сырья. Минимальное содержание металла в угле (C_{MIN}) определяется аналогично формуле (3):

$$C_{\text{MIN}} = ((Z_{\text{п}} + H_{\text{у}}) / (C_{\text{м}} \times K_{\text{и}} \times (1 - K_{\text{р}}))) \times 100\%, \quad (4)$$

где $Z_{\text{п}}$ – полные затраты на добычу углей и извлечение из них 1 т металла, тыс. руб.; $H_{\text{у}}$ – налоги, не входящие в структуру эксплуатационных затрат, тыс. руб.; $C_{\text{м}}$ – цена 1 т металла, содержащегося в угле, тыс. руб.; $K_{\text{и}}$ – коэффициент извлечения металла из углей, дол. ед.; $K_{\text{р}}$ – коэффициент разубоживания металлов при добыче углей, доли ед.

При этом минимальные запасы изолированных тел полезных ископаемых (Q_{MIN}), при которых они относятся к коммерческим (в нашем случае это запасы металлов в углях), можно устанавливать исходя из дополнительных расходов, связанных с их вскрытием и отработкой (согласно рекомендациям по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых [6, С. 9]):

$$Q_{\text{MIN}} = [K_{\text{д}} \times (1 - P)] / [(C_{\text{из}} - Z_{\text{ун}} - H_{\text{у}} - K_{\text{д}} \times E) \times (1 - \Pi)], \quad (5)$$

где $K_{\text{д}}$ – капитальные вложения, необходимые на проходку дополнительных вскрышных выработок, тыс. руб.; P – разубоживание при добыче, доли ед.; $C_{\text{из}}$ – извлекаемая в концентрат ценность полезных компонентов из 1 т угля, тыс. руб.; $Z_{\text{ун}}$ – эксплуатационные затраты с учетом налогов на добычу и переработку (извлечение металлов) 1 т угля, тыс. руб.; $H_{\text{у}}$ – налоги, платежи, отчисления, не входящие в структуру эксплуатационных затрат в расчете на 1 т годовой добычи угля, тыс. руб.; E – минимальная норма прибыли, равная учетной ставке банка (в долях ед.), при отсутствии инфляции принимается равной 5–6 %; Π – потери при добыче, доли ед.

При валовой добыче углей оценка содержания в них металлов должна проводиться согласно научно-методическим рекомендациям, что позволяет определить варианты извлечения металлов. Если металлы извлекаются параллельно сжиганию углей, для них не устанавливается предела минимального содержания. Содержание металлов в золоотвалах рассчитывается по формулам (1)–(3).

После оценки содержания металла по пластам и в золоотвалах, необходимо с учетом выявленных количественных критериев оценить запасы металлов в углях или золоотвалах (с учетом возможности извлечения металлов из накопленных золоотвалов или из получаемых золо-шлаковых отходов при их гидроудалении в отвалы). Подсчет запасов металлов можно проводить по следующей формуле:

$$Q = S \times m \times C \times \gamma, \quad (6)$$

где S – площадь участка месторождения, км²; m – мощность полезного ископаемого, м; C – содержание металла, %; γ – удельный вес металла, т/м³.

Затем следует оценить экономическую целесообразность извлечения металлов, рассчитать среднегодовой доход и выбрать оптимальный вариант их извлечения из углей или золоотвалов. При этом учитываются величины капитальных вложений и эксплуатационных затрат, а также возможные риски по проекту. Среднегодовой доход (D_{Γ}) от продажи металлов, извлекаемых из золы углей, на начальном этапе можно оценить (согласно рекомендациям по геолого-экономической оценке месторождений полезных ископаемых [6] и с учетом рисков проекта (P)) по формуле:

$$D_{\Gamma} = (Ц_{\Gamma} - Z_{\Gamma} - E \times K) \times (1 - P), \quad (7)$$

где $Ц_{\Gamma}$ – среднегодовая стоимость продукции, тыс. руб.; Z_{Γ} – среднегодовые эксплуатационные затраты, тыс. руб.; E – коэффициент эффективности капитальных вложений, доли ед.; K – величина капитальных вложений, тыс. руб.; P – общий риск при реализации проекта, доли ед.

При оценке общего риска должна оцениваться значимость каждого риска (0 – нет риска, 1 – 100 % риск) на каждой стадии проекта. На стадии составления проекта большее значение имеют политические и юридические риски, на стадии производства продукции – технологические и экологические риски, а на стадии реализации продукции – коммерческие и финансовые риски. $P = \sum P_i$, их значения определяют эксперты качественным методом. Риски оцениваются и количественным методом, путем расчетов P и δ^2 (среднее квадратическое отклонение):

$$P = \sum P_i \times a_i, \delta^2 = \sum (P_i - P)^2 / n, \quad (8)$$

где P_i и a_i – вероятность проявления и значимость (снижение экономического эффекта на определенную величину) i -го вида риска – от 1 до n , доли ед.; n – количество рисков.

Для оценки экономического риска проекта можно использовать диапазоны, представленные в табл. 1 [11. С. 292].

Для оценки объективности расчетной средней величины риска используется коэффициент вариации (K_B):

$$K_B = \delta / P \quad (9)$$

Чем меньше значение K_B , тем более достоверна предоставленная информация об оценке уровня риска и наоборот. Критическим считается значение $K_B = 0,33$. Если $K_B > 0,33$, то совокупность данных для анализа риска неоднородна. На практике факторы, влияющие на риск, взаимосвязаны. Поэтому критическое значение K_B может свидетельствовать о недостоверной информации.

Таблица 1. Примерная шкала возможных областей экономического риска

Вероятность величины риска	Область риска	Характеристика потерь
0	Безрисковая область	Потери отсутствуют
0,01–0,25	Область минимального риска	Размер потерь по проекту не больше размера чистой прибыли
0,21–0,5	Область повышенного риска	Доходы по проекту покрывают затраты, но размер прибыли минимален
0,51–0,75	Область повышенного риска	Размеры потерь по проекту не превышают валовую прибыль
0,751–1,0	Область недопустимого риска	Критическое финансовое состояние

Экономический эффект проекта по извлечению ценных металлов из углей или золо-шлаковых отходов углей окончательно должен определяться с учетом емкости рынков металлов и возможных объемов продаж, а также с учетом коммерческих и финансовых рисков (P).

Например, максимальный ожидаемый интегральный эффект по проекту ($\mathcal{E}_{\max}$), рассчитываемый по формуле (3) с учетом выручки по проекту = 66 млн руб., эксплуатационных затрат = 9 млн руб., капитальных затрат = 34 млн руб. и $P = 1$, составит 23 млн руб. Минимальный ожидаемый интегральный эффект ($\mathcal{E}_{\min}$) при $P = 0,5$ составит 11,5 млн руб. Ожидаемый интегральный экономический эффект рассчитывается по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = \lambda \times \mathcal{E}_{\max} + (1 - \lambda) \times \mathcal{E}_{\min}, \quad (10)$$

где λ – специальный норматив для учета неопределенности эффекта, отражающий систему предпочтений хозяйствующего субъекта в условиях неопределенности (обычно он принимается = 0,3); $\mathcal{E}_{\max}$ и $\mathcal{E}_{\min}$ – наибольшее и

наименьшее из математических ожиданий интегрального эффекта по допустимым вероятностным распределениям.

$$\mathcal{E}_{\text{ож}} = \lambda \times \mathcal{E}_{\text{max}} + (1 - \lambda) \times \mathcal{E}_{\text{min}} = 0,3 \times 23 + (1 - 0,3) \times 11,5 = 14,95 \text{ млн руб.}$$

Исходя из этих показателей можно провести оценку устойчивости проекта по трем вариантам: оптимистическому (О) – 23 млн руб., базовому (Б) – 14,95 млн руб. и пессимистическому (П) – 11,5 млн руб. С помощью этих показателей оценивается кумулятивная вероятность (K_B) достижения одного из трех вариантов проекта [12. С. 129]. Для этого используют произвольно взятый показатель V . В данном случае это произвольное значение экономического эффекта. Оно может быть равным значениям показателей О и П, а также может быть больше или меньше значения показателя Б. Расчет кумулятивной вероятности (K_B) осуществляется следующим образом.

При $V < Б$ (пусть $V = 12$):

$$K_B = A^2 / B, \quad (11)$$

где $A = (V - П) / (О - П)$; $B = (Б - П) / (О - П)$.

Тогда $A = (12 - 11,5) / (23 - 11,5) = 0,5 / 11,5 = 0,04$; $B = (14,95 - 11,5) / (23 - 11,5) = 3,45 / 11,5 = 0,3$. $K_B = 0,04^2 / 0,3 = 0,005$.

При $V > Б$ (пусть $V = 20$):

$$K_B = 1 - ((1 - A)^2 / (1 - B)). \quad (12)$$

Тогда $A = (20 - 11,5) / (23 - 11,5) = 8,5 / 11,5 = 0,74$; $B = 0,3$; $K_B = 1 - ((1 - 0,74)^2 / (1 - 0,3)) = 1 - (0,07 / 0,7) = 0,9$.

При $V = 11,5$ $K_B = 0$, а при $V = 23$ $K_B = 1$. Значения кумулятивной вероятности для проекта приведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения кумулятивной вероятности для экономического эффекта

Кумулятивная вероятность, доли ед.	Экономический эффект, млн руб.
0	11,5
0,005	12
0,9	20
1	23

Таким образом, показатели кумулятивной вероятности экономического эффекта подтверждают высокую устойчивость проекта. Используя формулы (7)–(12), можно выбрать оптимальный вариант проекта по извлечению цветных и редких металлов из углей или их золо-шлаковых отходов. Согласно проведенным исследованиям перспективный объект – золоотвалы, металлы дополнительно могут извлекаться и из зол уноса [3]. Величина риска для выбранного варианта, наряду с нормой прибыли инвестора и величиной инфляции, используется для расчета коэффициента дисконтирования и

нормы дисконта при дальнейшем технико-экономическом обосновании проекта.

Для выбранного технологического варианта извлечения металлов рассчитываются технико-экономические показатели проекта. Кроме расчета экономического эффекта, проводится оценка экологического, социального и косвенного эффектов, что повышает стоимость техногенных месторождений. При этом косвенный эффект имеет в основном иллюстративный характер. Он теоретически показывает экономию средств на ГРП, добычу, обогащение и получение металлов того же ряда и объема цветных и редких металлов, но рудные месторождения содержат, как правило, меньший, специфический, генетически обусловленный спектр металлов в большем объеме. Тем не менее косвенный эффект, так же как экологический и социальный эффекты, является существенным стимулом для разработки техногенных объектов.

В целом геолого-экономическая и экономическая оценка включает этапы: геолого-экономическая оценка месторождения (1–3); экономическая (стоимостная) оценка проекта по разработке месторождения (4–9); экономическая оценка проекта с учетом перспектив развития региона (10–12).

1. Оценка содержания ценных металлов в углях по пластам и в золошлаковых отходах углей.

2. Оценка количественных критериев (запасы/ресурсы металлов, промышленные, высокорентабельные технологии их извлечения, цены и спрос).

3. Оценка экономической целесообразности извлечения металлов из углей и золы в сравнении с рудными месторождениями (определение C_{MIN} и $C_{\text{MIN Y}}$).

4. Выбор оптимального варианта извлечения металлов (объект извлечения и метод извлечения – дифференциальная рента I и II) на основе расчета среднегодового дохода с учетом рисков проекта.

5. Определение показателей проекта с помощью аналогичных проектов или прямым расчетом, технико-экономическое обоснование проекта.

6. Оценка внутренних и внешних рынков металлов (спрос/предложение, емкость рынков, определение расчетных и прогнозных цен на металлы).

7. Оценка коммерческих и финансовых рисков проекта.

8. Расчет интегрального экономического эффекта или чистого дисконтированного дохода, индекса доходности, внутренней нормы доходности, срока окупаемости инвестиций.

9. Проведение СВОТ-анализа (учет внешних возможностей и угроз для проекта, сильных и слабых сторон фирмы и выработка стратегии), а также оценка устойчивости проекта (например, кумулятивным методом по трем вариантам – оптимистическому, базовому и пессимистическому).

10. Оценка народно-хозяйственного эффекта от реализации проекта на региональном уровне как суммы экономического, экологического, социального и косвенного эффектов.

11. Оценка эффективности извлечения металлов из углей и их золошлаковых отходов в сравнении с рудными месторождениями (оценка эксплуатационных и капитальных затрат, объемов производства по всей технологической цепочке от добычи руды или переработки углей/отходов до получения металлов).

12. Оптимизация комплексного использования ценных цветных и редких металлов по конкретным направлениям с учетом перспектив социально-экономического развития региона.

Предлагаемые методологические подходы и методика экономической оценки цветных и редких металлов, содержащихся в углях и золо-шлаковых отходах углей Кузбасса, могут быть использованы для других угольных бассейнов и техногенных месторождений, сформированных из угольных и прочих минеральных отходов, с учетом специфики исследуемых объектов.

Литература

1. *Методические рекомендации по комплексному изучению месторождений и комплексному подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов.* М.: ФГУ «ГКЗ», 2007. 17 с.
2. Быховский Л.З., Спорыхина Л.В. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 2011. № 4. С. 15–20.
3. Краснов О.С., Салихов В.А. Оценка перспектив извлечения ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отходов энергетических предприятий Кемеровской области. Т. 201: Проблемы развития минерально-сырьевого и топливно-энергетического комплексов России. СПб., 2013. С. 191–195.
4. *Редкие элементы в углях Кузбасса* / Арбузов С.И. [и др.]. Кемерово, 1999. 248 с.
5. Скурский М.Д. Недра Земли. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2006. 880 с.
6. *Временные методические рекомендации по геолого-экономической оценке промышленного значения месторождений твердых полезных ископаемых (кроме угля и горючих сланцев).* М.: ВИЭМС, 1998. 27 с.
7. *Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию постоянных кондиций для подсчета запасов месторождений твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы.* М., 2000. 42 с.
8. Кривоцов А.И., Беневоляский Б.И. О проекте концепций классификации ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых и стадийности геолого-разведочных работ // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление.* 2003. № 1–2. С. 78–85.
9. Салихов В.А. Экономика геологоразведочных работ: учеб. пособие / СибГИУ. Новокузнецк, 2007. 225 с.
10. *Экономические и правовые основы природопользования: учеб. пособие* / А.С. Астахов [и др.]; под ред. В.А. Харченко. М.: Изд-во Москов. гос. горного ун-та, 2009. 527 с.
11. Васильева Л.С. Экономика недвижимости: учеб. М.: Эксмо, 2008. 480 с.
12. *Финансово-экономическая оценка месторождений: учеб.* / А.Л. Дергачев [и др.]. М.: Изд-во МГУ, 2000. 176 с.

Salikhov Valeriy A. Chair of Economics, Novokuznetsk Branch Institute of Kemerovo State University (Novokuznetsk, Russia).

GEOLOGICAL AND ECONOMIC (COST) EVALUATION OF NON-FERROUS AND RARE METALS CONTAINED IN COALS AND IN ASH-SLAG WASTE OF COALS.

Keywords: fields, coals, ash-slag waste, non-ferrous and rare metals, geological and economic (cost) evaluation.

The intensive mining operations underway in both Russia and the rest of the world are leading to a depletion of reserves and a reduction in the quality of raw minerals. Furthermore, they aggravate the geological, economic and geographical conditions of the deposits. As a result, an exhaustion of balanced deposits of many non-ferrous and rare metals (lead, zinc, titan, zirconium, scandium, et cetera) is being observed. In this regard, there is a deficit of the raw minerals needed for non-ferrous metallurgy, as well as for other industries (nuclear, electronic, aviation, space, et cetera).

The planned growth in production in the Russian Federation signifies the pressing challenge of supplying scarce metals to the industry and assumes an increase in efforts in the complex usage of ores, as

well as in the exploitation of technogenic deposits. Therefore, there is the emerging problem of improving the economic assessment of complex and technogenic deposits.

A comprehensive geological and economic assessment of deposits based on the calculation of the main and valuable incidental components significantly increases the economic potential of the prospected reserves and allows them to be efficiently developed, as well as promoting the exploitation of marginally profitable deposits. Nevertheless, a comprehensive assessment of useful incidental components is not always performed, or is performed incompletely during deposit exploration. A sufficient volume of information has been gathered so far, which allows us to speak in favour of future uses of many incidental minerals and valuable components, or the ones encountered during the extraction of the main minerals or taken from dumps, *id est* from technogenic deposits.

One of the perspective sources of metals are coals from the Kuznetsk Basin, which contain elevated concentrations of such valuable metals as vanadium, tungsten, gallium, germanium, scandium, titanium, zirconium, and yttrium. The following criteria can be used as a geological and economic assessment of non-ferrous and rare metal reserves contained in coals and their ash-slag wastes.

1. Balanced reserves – a number of metals in coals and coal ashes are evaluated based on category P_1 , after geological prospecting and exploration they may be evaluated based on categories C_1 and C_2 .
2. Industrial, highly profitable technologies that allow for a comprehensive and efficient approach to maximizing environmentally conscious metal extraction from waste.
3. Economic criterion – prices, supply and demand, terms of sales, *et cetera* – unstable prices and sales volumes, a rise in prices can be speculative in nature, entry into the metal market is complicated and calls for risk assessment and government support.

As a whole, the geological and economic (cost) assessment should include the following steps: the geological and economic assessment of a deposit (1 – 3); the economic (cost) assessment of the deposit development project (4 – 9); and an economic assessment of the project with regard to future region's development (10 – 12).

1. Evaluation of the contents valuable metals in coals by layer and in the ash-slag waste of coals.
2. Evaluation of quantitative criteria (metal reserves/resources, industrial, highly profitable technologies of metal extraction, prices and demand).
3. Evaluation of the economic feasibility of metal extraction from coals and ashes versus ore fields (defined by C_{min}).
4. A selection of optimal variants for metal extraction (object and method of extraction – differential rent I and II) on the basis of average annual income calculations with regard to project risks.
5. Defining project indicators with case studies of analagous projects or direct calculations, a feasibility study of the project.
6. Evaluation of domestic and foreign metal markets (demand/supply, market capacity, estimated and target pricing of metal).
7. Assessment of commercial and financial project risks.
8. Calculation of integrated cost efficiency or net income, profitability index, internal rate of return, payback period.
9. Carrying out a SWOT-analysis (evaluation of external opportunities and threats to the project, strengths and weaknesses of a firm, and strategy formulation), and also an assessment of project stability (for example, a cumulative method by three variants – optimistic, basic and pessimistic).
10. Evaluation of the total economic effect achieved by the implementation of regional project as the sum of the economic, ecological, social and indirect effects.
11. Evaluation of the efficiency of metal extraction from coals and ash-slag waste versus ore fields (evaluation of operational and capital expenditures, outputs as per the entire process flow from production of ore or processing of coals/waste to extracting metals).
12. Optimisation of the comprehensive usage of valuable non-ferrous and rare metals in specific direction with the calculation of the perspective social and economic development of a region.

References

1. *Metodicheskie rekomendazii po kompleksnomu izucheniyu mestorozhdeniy i kompleks-nomu podschetu zapasov poputnykh poleznykh iskopaemykh i komponentov*. M.: FGU «GKZ», 2007. 17 s.
2. *Bychovskiy L.Z., Sporychina L.V.* Technogennye otchody kak rezerv popolneniya mineral'no-syr'evoy bazy: sostoyanie i problemy osvoeniya // *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie*. 2011. № 4. S. 15–20.

3. Krasnov O.S., Salichov V.A. Ozenka perspektiv izvlecheniya zennykh zvetnykh i redkikh metallov iz zolo-shlakovykh otvalov energeticheskikh predpriyatiy Kemerovskoy oblasti. T. 201: Problemy razvitiya mineral'no-syr'evogo i toplivno-energeticheskogo kompleksov Rossii. SPb., 2013. S. 191–195.
4. Redkie elementy v uglyach Kuzbassa / Arbuzov S.I. [i dr.]. Kemerovo, 1999. 248 s.
5. Skurskiy M.D. Nedra Zemli. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2006. 880 s.
6. Vremennye metodicheskie rekomendazii po geologo-ekonomicheskoy ozenke promyshlennogo znacheniya mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh (krome uglya i goryuchich slanzev). M.: VIEMS, 1998. 27 s.
7. Metodicheskie rekomendazii po tekhniko-ekonomicheskomu obosnovaniyu postoyannykh konditsiy dlya podscheta zapasov mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ugli i goryuchie slanzy. M., 2000. 42 s.
8. Krivzov A.I., Benevol'skiy B.I. O proekte koncepciy klassifikazii resursov i zapa-sov tverdykh poleznykh iskopaemykh i stadiynosti geologo-razvedochnykh rabot // Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie. 2003. № 1–2. S. 78–85.
9. Salichov V.A. Ekonomika geologorazvedochnykh rabot: ucheb. Posobie / SibGIU. Novokuz-nezk, 2007. 225 s.
10. Ekonomicheskie i pravovye osnovy prirodopol'zovaniya: ucheb. posobie / A.S. Astachov [i dr.]; pod red. V.A. Charchenko. M.: Izd-vo Moskov. gos. gornogo un-ta, 2009. 527 s.
11. Vasil'eva L.S. Ekonomika nedvizhimosti: ucheb. M.: Eksmo, 2008. 480 s.
12. Finansovo-ekonomicheskaya ozenka mestorozhdeniy: ucheb. / A.L. Dergachev [i dr.]. M.: Izd-vo MGU, 2000. 176 s.