

ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕДКОМЕТАЛЛЬНО-УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ – ПЕРСПЕКТИВНОГО ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННОГО ТИПА

Предложена методика геолого-экономической оценки редкометалльно-угольных месторождений с целью определения роли редкометалльной составляющей в повышении инвестиционной привлекательности угольных месторождений нераспределенного фонда (НФ) недр. Приведен пример детальной оценки одного из месторождений Амурской области.

Ключевые слова: геолого-экономическая оценка, редкометалльно-угольные месторождения, редкие элементы, уголь.

Method of geological commercial evaluation of rare metal-coal deposits for determination of the role of rare metal component in increasing the investment attractiveness of coal deposits in the unlicensed fund (UF) of mineral resources is proposed. An example of the detailed evaluation of one of the deposits in the Amur Region is given.

Keywords: geological commercial evaluation, rare metal-coal deposits, rare elements, coal.

В настоящее время можно считать доказанным, что в большинстве угольных бассейнов и месторождений мира имеются месторождения или отдельные пласты в них, которые можно рассматривать в качестве потенциального комплексного источника цветных, редких и благородных металлов. Предполагается решающее влияние на их образование в углях синхронного древнему торфонакоплению процесса выветривания магматических пород с выносом целого ряда ценных металлов и их концентрирование в органическом и минеральном веществе будущих углей, а также непосредственное воздействие на древние торфяники или сформировавшиеся угли вулканизма и глубинного магматизма. Однако до сих пор редкометалльный потенциал углей востребован мало. Из углей и углеотходов (золы) в промышленных масштабах получают лишь Ge и Au, в принципе разработаны технологии извлечения Ga, Sc, U, Y, редкоземельных и некоторых других металлов. Редкие металлы углей в той или иной степени остаются в золе, которая образуется после сжигания угольного топлива на ТЭЦ. В свою очередь зола, полученная после сжигания угля, делится на две составляющие: летучая (уловленная на электрофильтрах) зола, в которой концентрируется в основном германий, и шлак, в котором, помимо германия, концентрируются такие редкие металлы, как редкоземельные, скандий, галлий, рений и др. Выход летучей золы составляет около 4% от общего количества золы, а остальные 96% – это шлак.

Можно говорить о будущем обеспечении мировой экономики металлами (значительной доли потребности в них), содержащимися в углях, пока ограниченном как недостаточной изученностью микроэлементного состава угольных месторождений, так и отсутствием промышленных технологий извлечения редких элементов из золы углей (хотя имеется большое количество патентов на изобретения по способам извлечения). Сейчас накоплен обширный фактический материал по металлоносности углей в различных бассейнах России и мира –

настала пора практических решений. Во ВСЕГЕИ ведутся исследования по оценке новой нетрадиционной базы редких металлов в металлоносных угольных бассейнах Дальнего Востока (рис. 1). Следует провести геолого-экономическую оценку (ГЭО) редкометалльно-угольных месторождений с учетом их не только угольной, но и редкометалльной составляющей с тем, чтобы и с этой точки



Рис. 1. Общий вид Новиковского бурогоугольного месторождения (Сахалин)

зрения, основной для принятия решений по их освоению, получить представление о реальных перспективах. Иными словами, следует рассмотреть, насколько наличие ценных металлов в углях повышает инвестиционную привлекательность угольных месторождений. Для этого и предлагается методика укрупненной геолого-экономической оценки редкометалльно-угольных месторождений.

Основа укрупненной ГЭО – стоимостная оценка месторождений. Базой для нее являются запасы и (или) ресурсы полезного ископаемого (ПИ), а также горнотехнические, технологические и экономические показатели разработки месторождения.

Расчеты выполняются, исходя из цены на первую товарную продукцию и из действующей системы налогообложения на период проведения оценки. Стоимостная оценка определяет ожидаемую доходность освоения запасов минерального сырья, т. е. ожидаемую прибыль от его освоения. Эта прибыль определяется как разница между получаемыми доходами от реализации товарной продукции и всеми затратами на освоение месторождения (капитальные вложения, эксплуатационные затраты, налоги). В принципе на этом основаны все существующие подходы к ГЭО, описанные в многочисленных методиках, монографиях, статьях, в том числе специальные для углеводородного сырья, твердых ПИ (кроме угля и горючих сланцев), угля и горючих сланцев. Нет пока методики специализированной оценки редкометалльно-угольных месторождений.

Основной особенностью ГЭО редкометалльно-угольных месторождений является различная степень достоверности исходных данных по их угольной и редкометалльной составляющим, изученность которых определяется по углю запасами категорий А–С₂ и забалансовыми, по редким металлам (РМ) – прогнозными ресурсами, в лучшем случае их можно отнести к кат. Р₁. Важно также учитывать, что в различных угольных месторождениях различные металлы достигают промышленных концентраций, приемлемых для извлечения или отвечающих кондиционным содержаниям в месторождениях других типов. Имеет место и следующее обстоятельство: в настоящее время технологии извлечения разработаны хотя бы на принципиальном уровне не для всех элементов-спутников, пусть даже и достигающих в том или ином месторождении промышленных концентраций. Это предопределяет необходимость для каждого месторождения по крайней мере двух вариантов ГЭО: с учетом существующих и перспективных возможностей извлечения РМ. Предлагается упрощенный алгоритм ГЭО угольных месторождений нераспределенного фонда (НФ) недр по укрупненным показателям с учетом их редкометалльного потенциала. При этом ясно, что многие показатели освоения для редкометалльно-угольных месторождений НФ для угольной составляющей могут братья по аналогии с разрабатываемыми месторождениями сходного типа, а для редкометалльной – из имеющегося небольшого практического опыта, но главное, исходя из различных теоретических и практических предпосылок.

Предлагаемый алгоритм включает в себя следующие блоки: фактический (исходные и основанные на них расчетные данные), доходный (расчетные данные), расходный (исходные и расчетные данные), результирующий (расчетные данные – разница между данными доходного и расходного блоков).

Фактический блок. Для угля: геологические запасы для открытой разработки, приведенные к А–С₁; потери при добыче; расчетные извлекаемые запасы; годовая производительность (для месторождений НФ предполагаемая мощность добывающего предприятия); зольность; цена.

Для сопутствующих ПИ: содержание в угле или золе (в зависимости от схемы химического анализа, предполагающей определение количества элемента в угле или в золе после его сжигания); расчетные запасы в угле или золе; расчетное годовое погашение запасов, исходя из годовой добычи угля; извлечение ПИ в золу (летучую и шлак) и из золы; расчетный годовой выпуск; расчетные извлекаемые запасы; цена; принимаемая усредненная доля в цене, приходящаяся на дополнительные расходы на его извлечение из угля (золы). Удельные затраты на извлечение сопутствующих ПИ из углей (золы углей) для укрупненного расчета мы принимаем для всех ПИ равными 40% (0,4) от их товарной цены. Эта волевая цифра статистически обосновывается на примере руд других типов, где она скорее относится к добыче, обогащению и металлургическому переделу, а в случае редкометалльно-угольных руд – к их извлечению из углей (золы). Во всяком случае она не должна быть заниженной.

Для всех ПИ ставка дисконтирования.

Доходный блок. Для угля: стоимость годовой добычи; потенциальная стоимость извлекаемых запасов.

Для сопутствующих ПИ: дополнительная стоимость 1 т угля с данным ПИ; потенциальная стоимость извлекаемых запасов данного ПИ.

Для всех ПИ: общий годовой доход; потенциальная стоимость (ПС) месторождения и доли в ней каждого из вовлеченных в расчеты ПИ.

Расходный блок. Для угля: общие капитальные вложения (КВ) для месторождений НФ берутся по аналогии с действующими горными предприятиями с поправками на производственную мощность, регион расположения оцениваемого месторождения и др.; удельные производственные затраты (ПЗ) на 1 т угля (себестоимость добычи) включают в себя все затраты на получение первого товарного продукта; расчетные годовые ПЗ с учетом амортизационных отчислений; налог на добычу.

Для сопутствующих ПИ: дополнительные затраты на извлечение данного ПИ из угля (золы), исходя из усредненной доли в цене сопутствующего ПИ, приходящейся на дополнительные расходы (КВ + ПЗ) на его извлечение из угля (золы); налог на добычу.

Для всех ПИ: общие затраты на годовую добычу угля и извлечение сопутствующих ПИ; налоги на имущество, на добычу, на прибыль.

Результирующий блок. Для всех ПИ: годовая прибыль, определяемая как разница между общим годовым доходом и общими годовыми затратами; налогооблагаемая прибыль, определяемая как годовая прибыль за вычетом налогов на имущество и добычу; чистая годовая прибыль, определяемая как налогооблагаемая прибыль за вычетом налога на прибыль; чистая дисконтированная прибыль за время разработки месторождения (принимаем 15 лет) при принятой ставке дисконтирования (принимаем 10%). Далее обычно рассчитывается совокупность неоднозначно определяемых показателей, характеризующих различные стороны эффективности освоения месторождения. Предлагается рассчиты-

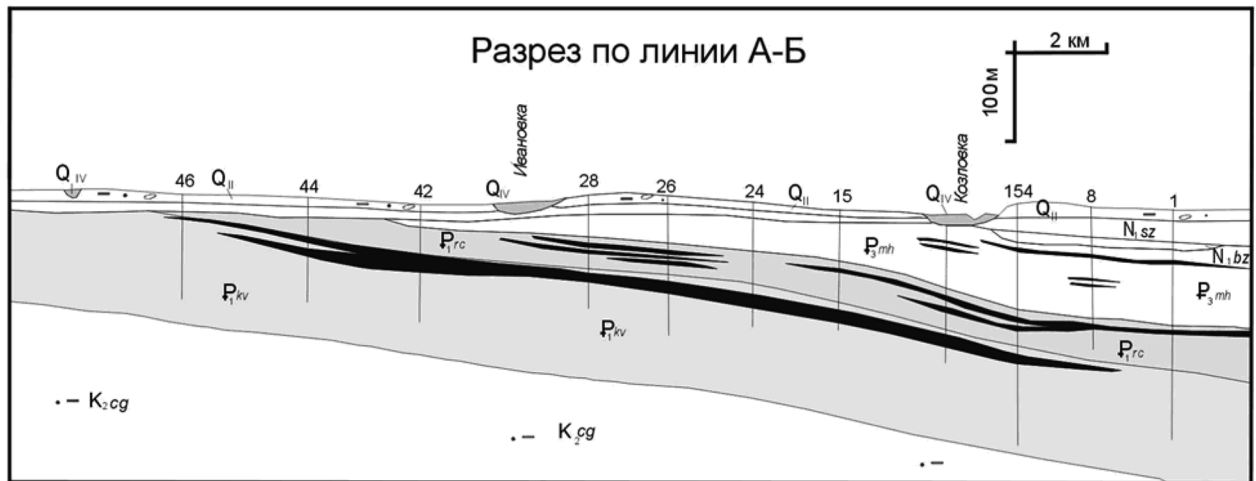
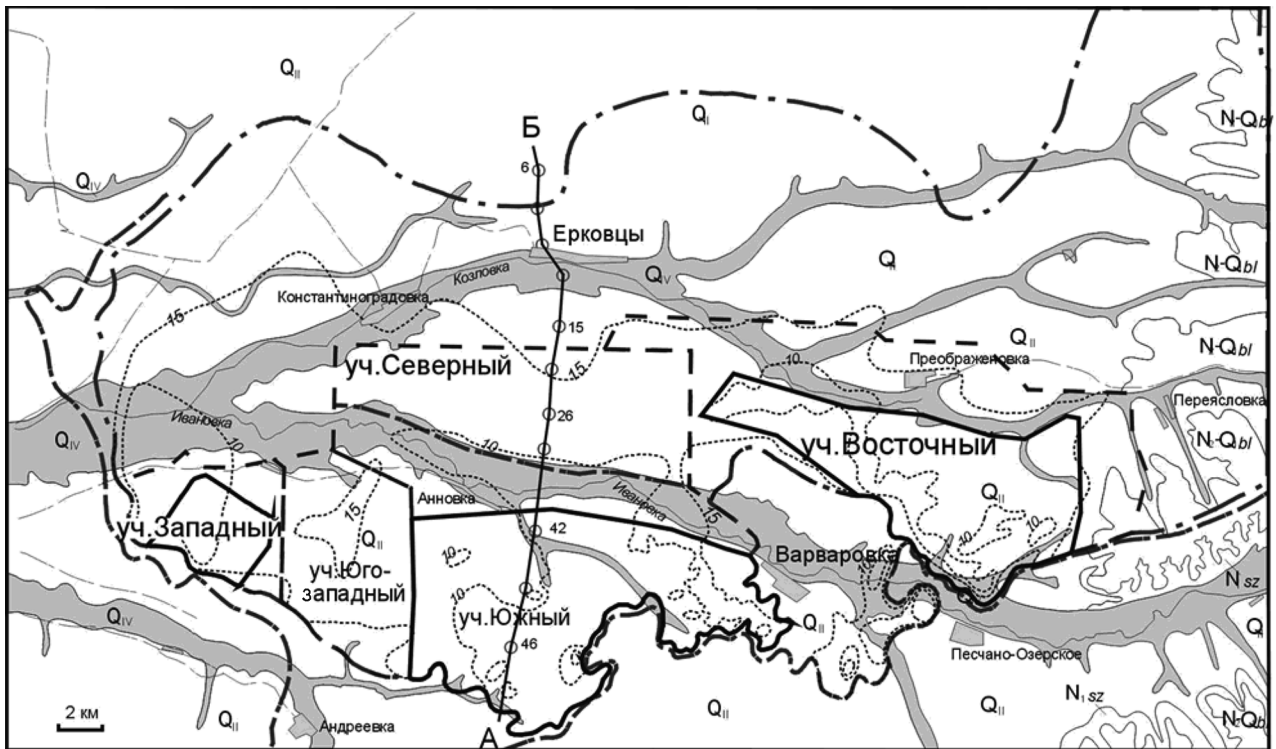


Рис. 2. Ерковецкое бурогольное месторождение (по материалам Ю. А. Агафонова, 1990)

1 – пески, гравий, галечник, глины песчаные; 2 – глины, пески, линзы песчаников; 3 – глины, пески мелкозернистые; 4 – каолинсодержащие пески, гравийники, галечники, глины, алевролиты, линзы лигнитов; 5 – пески, гравийники, галечники, глины, алевролиты с пластами бурого угля; 6 – глины, реже пески и алевролиты, бурые угли; 7 – пески, глины, алевролиты, бурые угли; 8 – скважины и их номера (пески, глины, алевролиты, бурые угли); 9 – отложения нерасчлененные (пески с прослоями и линзами глин); 10 – пласты бурого угля; 11 – изолиния мощностью 2 м угольного пласта кивдинской свиты; 12 – линия генетического выклинивания или полного размыва угольного пласта кивдинской свиты; 13 – изолинии линейного коэффициента вскрыши; 14 – линия геологического разреза; 15 – границы площади: а – предварительной (участки Западный, Юго-Западный, Северный и Восточный), б – детальной (участки Южный и Восточный) разведки; 16 – скважины, их номера; 17 – населенные пункты; 18 – дороги.

Свиты: bl – белогорская; sz – сазанковская; mh – мухинская; rs – райчихинская; kv – кивдинская; cg – цагаинская

**Геолого-экономическая оценка уч. Западный
Ерковецкого бурогоугольного месторождения
с учетом запасов угля и ресурсов сопутствующих
металлов, для которых имеются
технологии извлечения**

Показатели	Значения показателей
Геол. запасы угля для открытой разработки, приведенные к А–С1, млн т	115,600
Потери при добыче угля, %	8,000
Извлекаемые запасы угля, млн т	106,352
Годовая производительность, млн т	3,000
Зольность, %	16,000
Цена угля бурого, руб./т	900,000
Стоим. годовой добычи угля, млн руб.	2700,000
Потенциальная стоимость извлеченных запасов угля, млн руб.	95 716,800
Содержание Ge в угле, г/т	2,400
Запасы Ge в угле, т	255,245
Годовое погашение запасов Ge, т	7,200
Извлечение Ge: 0,35 в летучую золу; 0,12 в золу; 0,7 из золы. $K_{и} = 0,35 \times 0,7 = 0,245$ для 0,7% угля, $K_{и} = 0,12 \cdot 0,7 = 0,084$ для 16% угля. Общий $K_{и}$ для угля = $0,245 \cdot 0,007 + 0,084 \cdot 0,16 = 0,015$, доли ед.	0,015
Годовой выпуск Ge, т	0,108
Извлекаемые запасы Ge, т	3,829
Цена Ge, руб./г	50,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Ge, руб.	1,800
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Ge, млн руб.	191,434
Содержание TR ₂ O ₃ в золе, г/т	1060,900
Запасы TR ₂ O ₃ в золе, т	18 052,614
Годовое погашение запасов TR ₂ O ₃ , т	509,232
Извлечение TR ₂ O ₃ из золы, %	80,000
Годовой выпуск TR ₂ O ₃ , т	407,386
Извлекаемые запасы TR ₂ O ₃ , т	14 442,091
Цена TR ₂ O ₃ , руб./г	3,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с TR ₂ O ₃ , руб.	407,386
Потенциальная стоимость извлеченных запасов TR ₂ O ₃ , млн руб.	43 326,273
Содержание Sc в угле, г/т	7,500
Запасы Sc в угле, т	797,640
Годовое погашение запасов Sc, т	22,500
Извлечение Sc: 0,5 в золу; 0,8 из золы, доли ед.	0,400
Годовой выпуск Sc, т	9,000
Извлекаемые запасы Sc, т	319,056
Цена Sc, руб./г	25,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Sc, руб.	75,000
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Sc, млн руб.	7976,400
Содержание Ga в золе, г/т	36,900
Запасы Ga в золе, т	627,902

Показатели	Значения показателей
Годовое погашение запасов Ga, т	17,712
Извлечение Ga из золы, %	85,000
Годовой выпуск Ga, т	15,055
Извлекаемые запасы Ga, т	533,717
Цена Ga, руб./г	10,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Ga, руб.	50,184
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Ga, млн руб.	5337,169
Содержание Au в золе, г/т	0,002
Запасы Au в золе, т	0,034
Годовое погашение запасов Au, т	0,001
Извлечение Au из золы, %	75,000
Годовой выпуск Au, т	0,001
Извлекаемые запасы Au, т	0,026
Цена Au, руб./г	1608,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Au, руб.	0,386
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Au, млн руб.	41,043
Содержание МПГ в золе, г/т	0,060
Запасы МПГ в золе, т	1,021
Годовое погашение запасов МПГ, т	0,029
Извлечение МПГ из золы, %	80,000
Годовой выпуск МПГ, т	0,023
Извлекаемые запасы МПГ, т	0,817
Цена МПГ, руб./г	1200,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с МПГ, руб.	9,216
Потенциальная стоимость извлеченных запасов МПГ, млн руб.	980,140
Общие кап. вложения (КВ), млн руб.	7000,000
Удельные произв. затраты (ПЗ) на 1 т угля (себестоимость добычи), руб./т	400,000
Годовые произв. затраты, млн руб.	1200,000
Амортизационные отчисления, млн руб.	200,000
Годовые производственные затраты на добычу угля за вычетом амортизации, млн руб.	1000,000
Усредненная доля в цене РМ, приходящаяся на КВ + ПЗ, доля ед.	0,400
Дополнительные затраты на извлечение Ge из 1 т угля, руб.	48,000
Дополнительные затраты на извлечение TR ₂ O ₃ из 1 т угля, руб.	203,693
Дополнительные затраты на извлечение Sc из 1 т угля, руб.	75,000

Показатели	Значения показателей
Дополнительные затраты на извлечение Ga из 1 т угля, руб.	23,616
Дополнительные затраты на извлечение Au из 1 т угля, руб.	0,206
Дополнительные затраты на извлечение МПГ из 1 т угля, руб.	4,608
Дополнительные затраты на извлечение РМ из 1 т угля, руб.	355,123
Общие затраты на добычу 1 т угля и извлечение из нее РМ, руб.	755,123
Общие затраты на годовую добычу угля и извлечение РМ, млн руб.	2265,368
Общие затраты на годовую добычу угля и извлечение РМ за вычетом амортизации, млн руб.	2065,368
Общий годовой доход, млн руб.	9731,915
Годовая прибыль, млн руб.	7666,547
Налог на имущество (2%), млн руб.	194,638
Налог на добычу угля бурого – 4, РМ – 8%, млн руб.	670,553
Налогооблагаемая прибыль (НП), млн руб.	6801,355
Налог на НП (24%), млн руб.	1632,325
Чистая годовая прибыль (ЧП), млн руб.	5169,030
Чистая прибыль за 20 лет, млн руб.	103 380,600
Ставка дисконтирования, %	10,000
Чистая дисконтированная прибыль за время разработки м-ния при ставке 10%, млн руб.	17 673,699
Внутренняя норма прибыли с учетом всех затрат (рентабельность производства), %	250,272
Срок окупаемости КВ (уголь + РМ), лет	1,354
Срок окупаемости КВ при добыче только угля без извлечения РМ – без учета налогов, лет	4,667
Срок окупаемости КВ при добыче только угля без извлечения РМ – с учетом налогов, лет	6,067
Потенциальная стоимость (ПС) месторождения, млн руб.	153 569,259
Доля угля в ПС, %	62,328
Доля германия в ПС, %	0,125
Доля РЗМ в ПС, %	28,213
Доля скандия в ПС, %	5,194
Доля галлия в ПС, %	3,475
Доля золота в ПС, %	0,027
Доля МПГ в ПС, %	0,638
Стоимость 1 т угля с РМ	1443,972

вать рентабельность производства – внутреннюю норму прибыли с учетом всех затрат, определяемую как отношение чистой годовой прибыли к общим затратам; срок окупаемости КВ при разработке месторождения только на уголь и на уголь и сопутствующие ПИ.

Расчеты по предлагаемому алгоритму можно проводить в различных вариантах: с учетом существующих кондиций и технологий; с учетом в различной степени перспективных возможностей извлечения РМ, т. е. вовлекать в расчеты, помимо угля и сопутствующих компонентов с существующими технологиями их извлечения, также другие сопутствующие ПИ с промышленными концентрациями, технологии извлечения которых в принципе могут быть созданы.

Для примера рассмотрены некоторые месторождения НФ недр, в частности уч. **Западный Ерковецкого месторождения** (рис. 2), в двух вариантах: с учетом, помимо угля, только тех сопутствующих ПИ, для которых имеются разработанные технологии их извлечения из золы угля – Ge, TR₂O₃, Sc, Ga, Au, МПГ (табл. 1); с учетом, помимо угля, достаточно полного количества сопутствующих ПИ, по которым результаты анализа проб можно отнести к промышленным или перспективно промышленным – Ge, TR₂O₃, Sc, Ga, Au, МПГ, Rb₂O, Cs₂O, SrO, Re, ZrO₂, WO₃, BeO (табл. 2).

Структура потенциальной стоимости запасов угля и прогнозных ресурсов сопутствующих ПИ уч. Западный Ерковецкого месторождения в сокращенном и более полном вариантах показана на рис. 3.

Проанализируем результаты расчета по этим вариантам.

В обоих вариантах себестоимость добычи 1 т угля равна 400 руб., а дополнительные затраты на извлечение сопутствующих ПИ в сокращенном варианте составят 355, в полном 524 руб., делая затраты на 1 т угля с извлечением попутных ПИ 755 и 924 руб.

Годовые расходы на добычу угля в обоих вариантах составят 1,2 млрд руб., а с извлечением из них сопутствующих ПИ 2,27 и 2,77 млрд руб. Посмотрим, что за эти деньги получают инвесторы. Общий годовой доход составит в сокращенном варианте 9,7, в полном 10,4 млрд руб. Видно, что доходы существенно превышают расходы и за вычетом налогов обеспечат чистую годовую прибыль в сокращенном варианте 5,15, в полном 5,2 млрд руб. При этом подразумевается абсолютная технологическая готовность к извлечению всех сопутствующих ПИ.

Чистая дисконтированная прибыль (при ставке дисконта 10%) за время разработки месторождения (принимая 15 лет) составит в сокращенном варианте 17,6, в полном 17,84 млрд руб.

Об эффективности (рентабельности) освоения редкометалльно-угольных месторождений на примере Ерковецкого месторождения можно судить по отношению получаемой чистой годовой прибыли к общим годовым затратам. Это отношение в процентах в сокращенном варианте равно 249,4, в полном 202,8, что означает, что каждый вложенный в течение года рубль не только оправдывает себя, но еще и принесет прибыль: в первом случае 2,5, во втором 2 руб.

Потенциальная стоимость запасов редкометалльно-угольных руд уч. Западный Ерковецкого

**Геолого-экономическая оценка уч. Западный
Ерковецкого бурогоугольного месторождения с учетом
запасов угля и ресурсов сопутствующих металлов,
для которых существуют технологии
извлечения из золы углей и для которых
могут быть разработаны
такие технологии в перспективе**

Показатели	Значения показателей
Геол. запасы угля для открытой разработки, приведенные к А-С ₁ , млн т	115,600
Потери при добыче угля, %	8,000
Извлекаемые запасы угля, млн т	106,352
Годовая производительность, млн т	3,000
Зольность, %	16,000
Цена бурого угля, руб./т	900,000
Стоимость годовой добычи угля, млн руб.	2700,000
Потенциальная стоимость извлеченных запасов угля, млн руб.	95 716,800
Сод. Ge в угле, г/т	2,400
Запасы Ge в угле, т	255,245
Годовое погашение запасов Ge, т	7,200
Извлечение Ge: 0,35 в летучую золу; 0,12 в золу; 0,7 из золы. $K_n = 0,35 \cdot 0,7 = 0,245$ для 0,7% угля, $K_n = 0,12 \times 0,7 = 0,084$ для 16% угля. Общий K_n для угля = $0,245 \cdot 0,007 + 0,084 \times 0,16 = 0,015$, доли ед.	0,015
Годовой выпуск Ge, т	0,108
Извлекаемые запасы Ge, т	3,829
Цена Ge, руб./г	50,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Ge, руб.	1,800
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Ge, млн руб.	191,434
Содержание TR ₂ O ₃ в золе, г/т	1060,900
Запасы TR ₂ O ₃ в золе, т	18 052,614
Годовое погашение запасов TR ₂ O ₃ , т	509,232
Извлечение TR ₂ O ₃ из золы, %	80,000
Годовой выпуск TR ₂ O ₃ , т	407,386
Извлекаемые запасы TR ₂ O ₃ , т	14 442,091
Цена TR ₂ O ₃ , руб./г	3,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с TR ₂ O ₃ , руб.	407,386
Потенциальная стоимость извлеченных запасов TR ₂ O ₃ , млн руб.	43 326,273
Содержание Rb ₂ O в золе, г/т	55,800
Запасы Rb ₂ O в золе, т	949,511
Годовое погашение запасов Rb ₂ O, т	26,784
Извлечение Rb ₂ O из золы, %	60,000
Годовой выпуск Rb ₂ O, т	16,070
Извлекаемые запасы Rb ₂ O, т	569,706
Цена Rb ₂ O, руб./г	40,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Rb ₂ O, руб.	214,272
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Rb ₂ O, млн руб.	22 788,256
Содержание SrO в золе, г/т	823,200
Запасы SrO в золе, т	14 007,835
Годовое погашение запасов SrO, т	395,136
Извлечение SrO из золы, %	80,000
Годовой выпуск SrO, т	316,109
Извлекаемые запасы SrO, т	11 206,268
Цена SrO, руб./г	0,036
Дополнительная стоимость 1 т угля с SrO, руб.	3,793

Показатели	Значения показателей
Потенциальная стоимость извлеченных запасов SrO, млн руб.	403,426
Содержание Sc в угле, г/т	7,500
Запасы Sc в угле, т	797,640
Годовое погашение запасов Sc, т	22,500
Извлечение Sc: 0,5 в золу; 0,8 из золы, доли ед.	0,400
Годовой выпуск Sc, т	9,000
Извлекаемые запасы Sc, т	319,056
Цена Sc, руб./г	25,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Sc, руб.	75,000
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Sc, млн руб.	7976,400
Содержание Ga в золе, г/т	36,900
Запасы Ga в золе, т	627,902
Годовое погашение запасов Ga, т	17,712
Извлечение Ga из золы, %	85,000
Годовой выпуск Ga, т	15,055
Извлекаемые запасы Ga, т	533,717
Цена Ga, руб./г	10,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Ga, руб.	50,184
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Ga, млн руб.	5337,169
Содержание Re в угле, г/т	0,015
Запасы Re в угле, т	1,595
Годовое погашение запасов Re, т	0,045
Извлечение Re: 0,5 в золу, 0,2 из золы, общий $K_n = 0,5 \cdot 0,2 = 0,1$, доли ед.	0,100
Годовой выпуск Re, т	0,000
Извлекаемые запасы Re, т	0,002
Цена Re, руб./г	96,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Re, руб.	0,144
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Re, млн руб.	0,153
Содержание Cs ₂ O в золе, г/т	4,700
Запасы Cs ₂ O в золе, т	79,977
Годовое погашение запасов Cs ₂ O, т	2,256
Извлечение Cs ₂ O из золы, %	60,000
Годовой выпуск Cs ₂ O, т	1,354
Извлекаемые запасы Cs ₂ O, т	47,986
Цена Cs ₂ O, руб./г	7,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Cs ₂ O, руб.	3,158
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Cs ₂ O, млн руб.	335,902
Содержание Au в золе, г/т	0,002
Запасы Au в золе, т	0,034
Годовое погашение запасов Au, т	0,001
Извлечение Au из золы, %	75,000
Годовой выпуск Au, т	0,001
Извлекаемые запасы Au, т	0,026
Цена Au, руб./г	1608,000
Дополнительная стоимость 1 т угля с Au, руб.	0,386
Потенциальная стоимость извлеченных запасов Au, млн руб.	41,043
Содержание МПГ в золе, г/т	0,060
Запасы МПГ в золе, т	1,021
Годовое погашение запасов МПГ, т	0,029
Извлечение МПГ из золы, %	80,000

Показатели	Значения показателей	Показатели	Значения показателей
Годовой выпуск МПГ, т	0,023	Дополнительные затраты на извлечение Re из 1 т угля, руб.	0,576
Извлекаемые запасы МПГ, т	0,817	Дополнительные затраты на извлечение Cs ₂ O из 1 т угля, руб.	2,106
Цена МПГ, руб./г	1200,000	Дополнительные затраты на извлечение Au из 1 т угля, руб.	0,206
Дополнительная стоимость 1 т угля с МПГ, руб.	9,216	Дополнительные затраты на извлечение МПГ из 1 т угля, руб.	4,608
Потенциальная стоимость извлеченных запасов МПГ, млн руб.	980,140	Дополнительные затраты на извлечение ZrO ₂ из 1 т угля, руб.	7,954
Содержание ZrO ₂ в золе, г/т	310,700	Дополнительные затраты на извлечение WO ₃ из 1 т угля, руб.	0,300
Запасы ZrO ₂ в золе, т	5286,971	Дополнительные затраты на извлечение BeO из 1 т угля, руб.	13,568
Годовое погашение запасов ZrO ₂ , т	149,136	Дополнительные затраты на извлечение РМ из 1 т угля, руб.	524,371
Извлечение ZrO ₂ из золы, %	60,000	Общие затраты на добычу 1 т угля и извлечение из нее РМ, руб.	924,371
Годовой выпуск ZrO ₂ , т	89,482	Общие затраты на годовую добычу угля и извлечение РМ, млн руб.	2773,113
Извлекаемые запасы ZrO ₂ , т	3172,182	Общие затраты на годовую добычу угля и извлечение РМ за вычетом амортизации, млн руб.	2573,113
Цена ZrO ₂ , руб./г	0,400	Общий годовой доход, млн руб.	10 494,442
Дополнительная стоимость 1 т угля с ZrO ₂ , руб.	11,931	Годовая прибыль, млн руб.	7921,329
Потенциальная стоимость извлеченных запасов ZrO ₂ , млн руб.	1268,873	Налог на имущество (2%), млн руб.	209,889
Содержание WO ₃ в золе, г/т	6,700	Налог на добычу (бурый уголь – 4, РМ – 8%), млн руб.	731,555
Запасы WO ₃ в золе, т	114,009	Налогооблагаемая прибыль (НП), млн руб.	6979,885
Годовое погашение запасов WO ₃ , т	3,216	Налог на НП (24%), млн руб.	1675,172
Извлечение WO ₃ из золы, %	70,000	Чистая годовая прибыль (ЧП), млн руб.	5304,713
Годовой выпуск WO ₃ , т	2,251	Чистая прибыль за 20 лет, млн руб.	10 6094,253
Извлекаемые запасы WO ₃ , т	79,807	Ставка дисконтирования, %	10,000
Цена WO ₃ , руб./г	0,700	Чистая дисконтированная прибыль за время разработки месторождения при ставке 10%, млн руб.	18 137,619
Дополнительная стоимость 1 т угля с WO ₃ , руб.	0,525	Внутренняя норма прибыли с учетом всех затрат (рентабельность производства), %	206,159
Потенциальная стоимость извлеченных запасов WO ₃ , млн руб.	55,865	Срок окупаемости КВ (уголь + РМ), лет	1,320
Содержание BeO в золе, г/т	26,500	Срок окупаемости КВ при добыче только угля без извлечения РМ – без учета налогов, лет	4,667
Запасы BeO в золе, т	450,932	Срок окупаемости КВ при добыче только угля без извлечения РМ – с учетом налогов, лет	6,067
Годовое погашение запасов BeO, т	12,720	Потенциальная стоимость (ПС) месторождения, млн руб.	180 586,209
Извлечение BeO из золы, %	60,000	Доля угля в ПС, %	53,003
Годовой выпуск BeO, т	7,632	Доля германия в ПС, %	0,106
Извлекаемые запасы BeO, т	270,559	Доля РЗМ в ПС, %	23,992
Цена BeO, руб./г	8,000	Доля рублидия в ПС, %	12,619
Дополнительная стоимость 1 т угля с BeO, руб.	20,352	Доля стронция в ПС, %	0,223
Потенциальная стоимость извлеченных запасов BeO, млн руб.	2164,476	Доля скандия в ПС, %	4,417
Общие капитальные вложения (КВ), млн руб.	7000,000	Доля галлия в ПС, %	2,955
Удельные произв. затраты (ПЗ) на 1 т угля (себестоимость добычи), руб./т	400,000	Доля рения в ПС, %	0,000
Годовые произв. затраты, млн руб.	1200,000	Доля цезия в ПС, %	0,186
Амортизационные отчисления, млн руб.	200,000	Доля золота в ПС, %	0,023
Годовые производственные затраты на добычу угля за вычетом амортизации, млн руб.	1000,000	Доля МПГ в ПС, %	0,543
Усредненная доля в цене РМ, приходящаяся на КВ + ПЗ, доля ед.	0,400	Доля циркония в ПС, %	0,703
Дополнительные затраты на извлечение Ge из 1 т угля, руб.	48,000	Доля вольфрама в ПС, %	0,031
Дополнительные затраты на извлечение TR ₂ O ₃ из 1 т угля, руб.	203,693	Доля бериллия в ПС, %	1,199
Дополнительные затраты на извлечение Rb ₂ O из 1 т угля, руб.	142,848		
Дополнительные затраты на извлечение SrO из 1 т угля, руб.	1,897		
Дополнительные затраты на извлечение Sc из 1 т угля, руб.	75,000		
Дополнительные затраты на извлечение Ga из 1 т угля, руб.	23,616		

Сводная таблица показателей освоения редкометалльно-угольных

Основные характеристики	Варианты учета сопутствующих ПИ	Ерковецкое		Лианское	
		уч. Западный	уч. Восточный		
Геологические запасы угля, млн т	Все	115,6	559,8	266,9	
Годовая производительность, млн т	Все	3	5	4,5	
Зольность, %	Все	16	18	25	
Капитальные вложения, млрд руб.	Все	7	8,5	15,85	
Общие производственные затраты на годовую добычу угля, млрд руб.	Все	1	2	2,43	
Общие производственные затраты на годовую добычу угля и сопутствующих ПИ, млрд руб.	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	2,27	3,66	3,96	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	2,77	4,2	5,85	
Чистая годовая прибыль, млн руб.	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	5169	14 904	7633,7	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	5304,7	15 051	8151,8	
Рентабельность производства, %	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	250,3	443,8	198,6	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	206,2	386,6	142,1	
Потенциальная стоимость (ПС), млрд руб.	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	153,6	754,1	274,5	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	180,6	837,4	427,2	
Стоимость 1 т угля с РМ, руб.	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	1444	1464,24	1142,84	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	1698,15	1626,075	1778,47	
Структура ПС, %	Сокращенный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Ga, Au, МПГ	Уголь (62,3), РЗМ (28,2), скандий (5,2), галлий (3,5), МПГ, золото, германий, вместе взятые (0,8)	Уголь (61,5), РЗМ (31,3), скандий (4,2), галлий (2,8), золото, германий, МПГ, вместе взятые (0,2)	Уголь (56,4), РЗМ (30,3), галлий (5,3), скандий (4,5), МПГ (2,9), золото (0,32), германий (0,22)	
	Полный: Ge, TR ₂ O ₃ , Sc, Au, МПГ, Ga, Rb ₂ O, SrO, Re, Cs ₂ O, ZrO ₂ , WO ₃ , BeO	Уголь (53), РЗМ (24), рубидий (12,6), скандий (4,4), галлий (3), бериллий (1,2), цирконий, МПГ, стронций, цезий, германий, вольфрам, золото, рений, вместе взятые (0,8)	Уголь (55,4), РЗМ (28,2), рубидий (6,9), скандий (3,8), галлий (2,5), бериллий (1,8), цирконий, стронций, цезий, золото, германий, вольфрам, МПГ, рений, вместе взятые (1,4)	Уголь (36,3), рубидий (32,3), РЗМ (19,5), галлий (3,4), скандий (2,9), МПГ (1,9), стронций, цезий, бериллий, цирконий, вольфрам, золото, германий, рений, вместе взятые (3,7)	

Таблица 3

месторождений

	Хурмурулинское, уч. Хурмурулинский	Новиковское, уч. Резервный	Новиковское, уч. Восточный
	56,5	4,6	0,53
	0,5	0,1	0,05
	23	16	22
	1,8	0,076	0,038
	0,22	0,035	0,017
	0,56	0,047	0,028
	0,78	0,07	0,052
	108,2	-16,7	-4,1
	167,8	-10,4	2,4
	20,6	-37,1	-17,3
	22,4	-15,3	5
	94,3	3,9	0,54
	128,4	5,4	0,9
	1854,44	948,82	1141,237
	2524,614	1298,633	1876
	Уголь (43,7), редкоземельные металлы (33,9), МПП (12,9), скандий (4,3), галлий (3,1), золото (1,94), германий (0,23)	Уголь (85,4), РЗМ (7,3), галлий (3,1), скандий (3), МПП (1,1), золото (0,84), германий (0,16)	Уголь (71), РЗМ (17,7), скандий (5,2), галлий (4,7), МПП (1,3), золото (0,09), германий (0,046)
	Уголь (32,1), рубий (25,1), РЗМ (24,9), МПП (9,5), скандий (3,1), галлий (2,3), золото (1,4), бериллий, цезий, цирконий, германий, стронций, вольфрам, рений, вместе взятые (1,6)	Уголь (62,4), рубий (25), РЗМ (5,3), галлий (2,24), скандий (2,2), цезий, золото, цирконий, стронций, бериллий, вольфрам, германий, рений, вместе взятые (2,9)	Уголь (43,2), рубий (37), РЗМ (10,8), скандий (3,15), галлий (2,9), цезий (1), МПП (0,8), цирконий (0,6), бериллий (0,33), стронций (0,2), золото, германий, вольфрам, рений, вместе взятые (0,2)

месторождения в первом случае составит 153,6, во втором 180,6 млрд руб. В первом случае основная доля в общей стоимости месторождения приходится на уголь (62,3%), редкоземельные металлы (28,2), скандий (5,2), галлий (3,5), а также на МПП, золото, германий, вместе взятые (0,8), во втором – на уголь (53%), РЗМ (24), рубидий, технология извлечения которого, как и многих других перечисляемых далее компонентов, из золы углей пока отсутствует (12,6), скандий (4,4), галлий (3), бериллий (1,2), а также на цирконий, МПП, стронций, цезий, германий, вольфрам, золото, рений, вместе взятые (0,8). Как видно, доля в общей стоимости многих попутных ПИ в Ерковецком месторождении невелика ($\approx 0,8\%$ вместе взятых) и, может быть, их следует извлекать лишь при сопровождении технологического процесса по извлечению значимых в стоимостном выражении ПИ. На других месторождениях структура стоимости руд может быть иной. Рассмотрим результаты ГЭО по некоторым другим месторождениям (табл. 3).

Приведенные данные показывают, что потенциальная извлекаемая ценность 1 т угля в рассмотренных редкометаллоугольных месторождениях Дальнего Востока с учетом редких металлов возрастает с 900 руб./т, например на уч. Западный Ерковецкого месторождения, в сокращенном варианте почти до 1444 руб., т. е. в 1,6 раза, в полном до 1698 руб., т. е. в 1,9 раза. В общую стоимость разные компоненты вносят различную лепту, что хорошо видно в структурах потенциальной стоимости месторождений (табл. 3). Наиболее значимы уголь и редкоземельные металлы, а при развитии технологий извлечения попутных компонентов из золы углей большую роль будут играть рубидий, скандий и галлий, в некоторых месторождениях – платиноиды, золото и бериллий (табл. 3). Структура стоимости месторождения наглядно показывает роль каждого металла в формировании продажной цены за 1 т угля. Ее можно заранее предвидеть, исходя из элементов-примесей, извлечение которых будет возможно при текущем развитии технологий переработки золы угля. Это видно и из табл. 1 и 2. Так, для рассмотренного уч. Западный Ерковецкого месторождения из металлов, технология извлечения которых из золы угля в принципе разработана, в текущих ценах наиболее существенно повысят стоимость 1 т угля редкоземельные металлы – на 407 руб., т. е. почти на половину, скандий – на 75, галлий – на 50, МПП – на 9 руб. Остальные элементы для рассматриваемого месторождения незначительны: германий повысит ценность 1 т угля менее чем на 2 руб., золото – на 40 коп. (на столько низки их концентрации). А вот из элементов, технологию извлечения которых из золы углей еще надо совершенствовать, наиболее весомый вклад в увеличение ценности угля внесет на рассматриваемом месторождении рубидий, благодаря ему стоимость 1 т угля возрастет на 214 руб. Бериллий увеличит ее лишь на 20 руб., доля остальных еще менее значима. Таким образом, для увеличения инвестиционной привлекательности уч. Западный Ерковецкого месторождения, находящегося в НФ, наиболее существенны такие элементы-примеси, как редкоземельные металлы, рубидий, скандий, галлий.

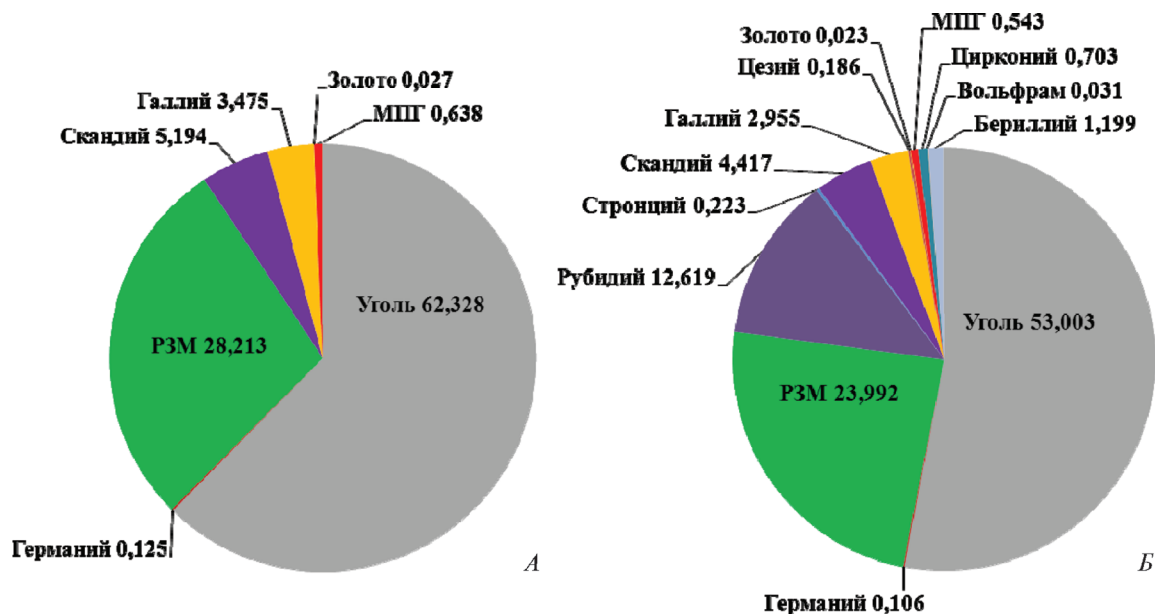


Рис. 3. Структура потенциальной стоимости запасов уч. Западный Ерковецкого месторождения, %
Список сопутствующих ПИ: А – сокращенный вариант; Б – полный

Из месторождений, рассмотренных в табл. 3, наибольшую потенциальную стоимость имеет уч. Восточный Ерковецкого месторождения, затем следуют Лианское месторождение, уч. Западный Ерковецкого месторождения, уч. Хурмурулинский Хурмурулинского месторождения. Менее привлекательны из рассмотренных оба участка Новиковского месторождения.

Работы по оценке редкометалльно-угольных месторождений Дальнего Востока продолжаются, авторы намерены и впредь давать информацию об их результатах. Это особенно важно, если учесть, что подобные месторождения достаточно широко распространены и во многих других угольных бассейнах и месторождениях России и мира.

Неженский Игорь Анатольевич – доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ. <Igor_Nezhensky@vsegei.ru>. Вялов Владимир Ильич – доктор геол.-минер. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ. <Vladimir_Vyalov@vsegei.ru>. Мирхалевская Наталья Валериевна – вед. инженер, ВСЕГЕИ. <Natalia_Mirkhalevska@vsegei.ru>. Чернышев Артем Артурович – аспирант, ВСЕГЕИ. <Artem_Chernyshev@vsegei.ru>.