

3. *Геология угольных месторождений СССР* / Под ред. А.К.Матвеева. —М.: Изд-во МГУ, 1990. С. 299—308.
4. *Голицын М.В., Голицын А.М.* Угленосность Западно-Сибирского нефтегазоносного бассейна // *Разведка и охрана недр*. 1995. № 9. С. 9—13.
5. *Грицко Г.И.* Уголь в топливно-энергетическом балансе: прошлое, настоящее и прогноз на будущее // *Уголь*. 2002. № 6. С. 18—20.
6. *Гуревич А.Б., Волкова Г.М., Гаврилова О.И.* и др. Первая находка горючих сланцев в нижнесилурийских отложениях северо-западного склона Анабарской антеклизы // *Горючие сланцы*. 1984. № 1. С. 329—333.
7. *Евстрахин В.А., Прокофьева Л.М., Кошелев А.П.* Топливо-энергетическое сырье — нефть, природный газ, уголь, уран, горючие сланцы, торф // *Минеральные ресурсы России*. Вып. 2. —М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997.
8. *Лобанов М.Ф.* Геология и угленосность Приморского края Хараулахских гор. —Л.—М., 1951.
9. *Павлов А.В.* Угленосность, качество и ресурсы бурых углей Земли Франца-Иосифа // *Отечественная геология*. 2005. № 2. С. 14—20.
10. *Прокофьева Л.М.* Уголь в топливно-энергетическом балансе России: его значение и перспективы добычи и потребления // *Геологическое изучение и использование недр*. Науч.-тех. сборник. Вып. 5. —М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. С. 3—13.
11. *Угольная база России* / Под ред. В.Ф.Череповского. Т. I—VI. —М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1997—2004.
12. *Спиридонов Ю.А.* Республика Коми — одно из ведущих мест минерально-сырьевого потенциала. Геологическая служба и минерально-сырьевая база России на пороге XXI века // *Доклады на пленарном заседании Всероссийского съезда геологов 4 октября 2000 г.* —С-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2001. С. 59—61.
13. *Сумбатов Р.А.* Поиски горючих ископаемых в СССР // *Энергетические ресурсы мира. Доклады XXVII Международного геологического конгресса*. Т. 2. —М.: Наука, 1984. С. 41—49.
14. *Тропко Л.А.* Угольная отрасль — состояние и перспективы // *Уголь*. 2002. № 5. С. 3—7.
15. *Юзвицкий А.З., Фомичев А.С., Бостриков О.И.* Западно-Сибирский угленосный бассейн // *Отечественная геология*. 2000. № 2. С. 25—33.

УДК 553.04: 622.33.012

О.С.Краснов, В.А.Салихов, 2006

Обоснование критериев для геолого-экономической оценки запасов металлов из попутных полезных компонентов на угольных месторождениях Кузбасса

О.С.КРАСНОВ (СНИИГТИМС), В.А.САЛИХОВ (Сиб. гос. индустр. ун-т)

В настоящее время в мире и России отмечается истощение запасов, ухудшение горно-геологических условий разработки и экономико-географических условий эксплуатации многих месторождений металлических полезных ископаемых. В России также наблюдается значительное сокращение объема геологоразведочных работ и прироста запасов. При этом около половины разведанных месторождений с балансовыми запасами в условиях рыночной экономики становятся условно рентабельными и даже нерентабельными для разработки. Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости комплексного освоения рентабельных месторождений, а также вовлечения в переработку накапливаемых отходов минерального сырья.

Тем не менее, при разведке месторождений далеко не всегда или не в полном объеме проводится комплексная оценка и попутных полезных компонентов [2]. Несмотря на это, к настоящему времени накоплен достаточный объем информации, позволяющий говорить о перспективности использования многих попутных полезных ископаемых и полезных компонентов или одновременно с добычей основного полезного ископаемого, или из отвалов, т.е. из техногенных месторождений.

Особенно много информации накоплено о ценных металлах, являющихся попутными компонентами в комплексных рудных месторождениях. Например, железные руды контактово-метасоматических месторождений Горной Шории и Кузнецкого Алатау часто содержат повышенные концентрации Cu, Mo, Co, Zn, Pb, Au, Ag, редких и редкоземельных металлов [4, 10]. Повышенные содержания этих элементов отмечены и в хвостохранилищах обогатительных фабрик [5]. Пример комплексного использования полезных ископаемых — промышленная добыча ванадия из нефти в Канаде, Венесуэле и США.

Некоторые ценные попутные полезные ископаемые и компоненты можно извлечь и при разработке угольных месторождений. Например, большой интерес вызывает метан угольных пластов. Этот газ используется в промышленных объемах в США и является одним из перспективных видов энергетического сырья России. Перспективна также и глубокая переработка углей, позволяющая получить множество ценных продуктов (горный воск, смолы, термографиты, газообразное и жидкое топливо и др.). В углях, также как и в рудах, отмечаются повышенные концентрации ряда ценных металлов — Ga, Ge, V, W, Sc, Ti, Zr и др. По данным авторов статьи, эти концентрации достигают граммов на тонну, десятков и даже сотен граммов на тонну (Ti, Zr).

Аномальные содержания металлов-примесей в углях могут быть связаны и с биогенным, и кластогенным накоплением, но для угольных бассейнов геосинклиналиного типа повышенные концентрации металлов чаще всего связаны с эпигенетическими процессами. Многие исследователи отмечают приуроченность аномально высоких содержаний ряда металлов к зонам тектонических нарушений [6, 11, 12], что можно использовать при оценке ценных металлов, содержащихся в повышенных концентрациях в угольных пластах [7].

Известно, что при оценке содержаний ценных элементов-примесей на месторождении (рудопроявлении) их подсчет ведется в следующем порядке. Аномальная концентрация элементов-примесей определяется из соотношения:

$$K_A C_0/C_{\phi}, \quad (1)$$

где K_A — коэффициент аномальности; C_0 — концентрация элементов в ореоле; C_{ϕ} — фоновое содержание элементов.

Интервал опробования устанавливается, согласно действующим инструкциям, по следующей формуле:

$$L = X_{\max} - X_{\min} / 1,32 \lg N, \quad (2)$$

где L — величина интервала; N — число проб; X_{\max} — максимальное и X_{\min} — минимальное содержание элемента в выборке.

Учитывая, что коэффициент аномальности для угольных пластов в зонах нарушения может быть 2, 3 и выше, интервал опробования может достигать при расчетах по формуле (2) до 50 м и более. В то же время величина аномалий, приуроченных к тектоническим нарушениям, по простиранию пласта колеблется обычно от 15 до 25 м [7]. Аномальные зоны включают участки повышенной трещиноватости в левом и правом крыльях дизъюнктивов. Таким образом, используя формулу (2) и опробуя пласт через 50 м, можно пропустить участки повышенных концентраций металлов. В соответствии с методическими рекомендациями при оценке содержания в углях германия подсчитываются минимальные содержания германия в подсчетном блоке, шахто-пласте. Для условий селективной выемки частей угольного пласта, обогащенных германием, определяется минимальная мощность этих частей, минимальные содержания германия в краевых пробах для оконтуривания таких частей пласта и минимальные содержания в подсчетном блоке [9]. На практике при оценке содержания в углях ценных металлов часто вообще не учитывают динамику содержания попутных компонентов по пласту и ограничиваются при опробовании вертикальной бороздовой пробой на всем протяжении вскрытого пласта (до нескольких сот метров).

Для более точной оценки содержания попутных элементов-примесей необходимо учитывать динамику изменения их содержания по тектонически нарушенным пластам, т.е. подсчитывать концентрацию ценных элементов-примесей в углях раздельно — по нарушенным и ненарушенным участкам пласта.

Исходя из этого, предлагается величину интервала опробования определять следующим образом. Аномалии, согласно требованиям инструкций, должны быть подсечены минимум в двух точках. Поскольку протяженность аномалий по пласту составляет обычно 15—25 м, интервал опробования прогнозного участка должен быть не более 10 м. Такое опробование легко провести при наличии соответствующей аппаратуры (например, спектрометров типа «Барс-3»).

Затем оценивается содержание ценных элементов-примесей отдельно по нарушенным и ненарушенным участкам пласта. Нарушенные участки выделяются по формуле (1), при значении коэффициента аномальности 2. Коэффициент нарушенности в этом случае можно определить по формуле:

$$K_H = n/S, \quad (3)$$

где n — длина участка тектонических нарушений и интенсивной трещиноватости; S — протяженность всего изучаемого участка по пласту.

Дальнейшая оценка производится в следующем порядке. Величина коэффициента будет изменяться от 0 до 1. Тогда, учитывая динамику содержания исследуемого элемента по нарушенному пласту (например, титан на шахте Алардинская, Южный Кузбасс), можно оценить его концентрацию. Так, коэффициент аномальности для титана здесь равен 5, так как его содержание изменяется от 100 до

500 г/т. Если Коэффициент нарушенности равен 0,2, то его содержание будет оцениваться как:

$$C_{Ti} = 100 \cdot 0,8 \cdot 500 \cdot 0,2 = 180 \text{ г/т.} \quad (4)$$

В связи с изложенными фактами о попутных полезных ископаемых и компонентах, актуальна их оценка по категориям запасов или прогнозных ресурсов. Согласно ряду опубликованных данных, их можно оценить по категориям P_1 и C_2 , т.е. как забалансовые запасы [4, 5, 10, 11]. В то же время ряд ценных компонентов извлекается промышленностью и, следовательно, может быть оценен не ниже категории C_1 . Необходимо учитывать, что запасы попутных компонентов в контурах запасов категорий А, В и C_1 , содержащего их полезного ископаемого, подсчитываются, как правило, по категории не ниже C_1 . В случае неравномерного распределения ценных компонентов, категория запасов может быть снижена до C_2 , но при попутном характере извлечения их оценивают как промышленные [2].

Попутные полезные компоненты углей чаще бывают оценены по категории P_1 [1, 11]. Учитывая выявленные особенности распределения этих элементов по угольному пласту и предложенную методику оценки, их также можно оценить по категориям запасов не ниже C_2 , C_1 . Кроме того, большая часть ценных металлов накапливается в золах, где их содержание, как правило, выше на порядок [1, 7]. К тому же, большинство разработанных технологий извлечения ценных попутных компонентов предназначены для извлечения металлов из золошлаковых отходов. Такие металлы как Ge, V, W и другие могут также легко улавливаться фильтрами при сжигании углей на ТЭС [3], что дает и экологический эффект, так как ценные металлы одновременно могут быть и вредными, токсическими примесями (например, As, Bi, Hg). Ценные металлы извлекают также из самих углей — Ge, U. Наибольший интерес представляют золошлаковые отвалы, которых в Кузбассе накоплено около 0,5 млрд.т. и их переработка также даст несомненный экологический эффект.

Добыча угля в Кузбассе в последние годы неуклонно растет. В 1998 г. она составила около 100, а в 2004 г. достигла 150 млн.т. Если считать, что средняя зольность угля изменяется от 10 до 15% (учитывая в первую очередь материнскую зольность, с которой в основном связаны микрокомпоненты), то ежегодное накопление золошлаковых отходов может достигать 15 млн.т. Тогда, если содержание какого-либо ценного металла (например, ванадия) составляет в углях 10 г/т, в золе — уже 100 г/т и, следовательно, в течение года в золошлаковых отходах его будет накапливаться около 1500 т. Таким образом, даже с учетом неравномерности распределения металлов в углях, потерях при их хранении, переработке и извлечении запасы многих ценных металлов в угольных отходах составляют сотни, тысячи тонн и более. Переработка золошлаковых отходов на промышленных установках может дать, по данным авторов статьи, несколько десятков тонн, а по некоторым данным около 1000 т ценных металлов в год [7, 11]. Следовательно, попутные полезные компоненты углей Кузбасса можно считать перспективной местной минерально-сырьевой базой ряда ценных металлов (Ga, Ge, Va, W, Sc), обеспечивающих часть потребности промышленности Кемеровской области и Сибирского региона, а также перспективными для экспорта. Учитывая высокие содержания (до 500 г/т в угле) Ti и Zr, извлечение из золошлаковых отходов этих металлов можно считать перспективным и для народного хозяйства страны в целом.

Предлагаемая методика оценки металлов в углях, имеющиеся технологии их извлечения и возникающий при этом экологический эффект, позволяют сделать вывод об экономической целесообразности их использования. Для уточнения степени экономической целесообразности применения этих попутных полезных компонентов необходимо использовать международную классификацию ООН запасы (ресурсы) [8]. Она основана на приведении к единым экономическим категориям различных национальных классификаций запасов и ресурсов полезных ископаемых. В общем, единые критерии оценки запасов (ресурсов) основаны на их оценке в трехмерной системе координат, таких как: степень геологической изученности, наличие промышленных технологий извлечения и переработки минерального сырья, наличие спроса на минеральное сырье. Исходя из степени геологической, технологической и экономической изученности, запасы полезных ископаемых подразделяются на экономические, потенциально экономические и возможно экономические.

Согласно международной классификации ООН запасы (ресурсы) попутных полезных компонентов углей Кузбасса можно оценить следующим образом. Так, предлагаемая авторами статьи методика оценки содержания металлов в углях из-за густой сети опробования позволяет оценить их запасы по категориям А и В. Согласно имеющейся информации, в настоящее время возможно извлечение в лабораторных условиях многих черных, цветных и редких металлов (Al, Ga, Ge, Fe, Ti, Zr, V, W, Y) [1]. Ряд металлов (например, Al, Fe, Ge) может извлекаться и промышленным способом. Тогда экономическая категория запасов будет определяться спросом на конкретные металлы, а также их ценой и себестоимостью. Например, с середины XX в. возможно промышленное извлечение железа из золошлаковых отходов, но такой вариант в настоящее время не востребован и, вероятно, возможен при значительном истощении местной минерально-сырьевой базы магнетитовых руд. Перспективно также извлечение из золошлаковых отходов глинозема. Качество такого сырья для получения алюминия ниже, чем у бокситов, но значительно дешевле. Несмотря на повышенные концентрации в углях таких дефицитных металлов как Ti, Zr, Sc, Y, Be, их запасы нельзя считать экономическими, поскольку нет надежных технологий извлечения этих металлов. Кроме того, необходимы технологии, позволяющие извлекать ценные металлы из углей комплексно, с разделением на монофракции, что даст возможность повысить и экономическую эффективность извлечения, так как цена на металл должна быть выше себестоимости его извлечения. В целом, себестоимость извлечения металлов из угольных отходов ниже, чем из руд. В этом случае оправдывается и извлечение редких металлов с невысоким содержанием. Например, в соответствии с методическими требованиями, содержание германия в углях при подсчете его запасов должно быть не менее 2,5 г/т в пересчете на сухой уголь для марок ГЖ, Ж и не менее 4, 2 г/т для марки Г. В то же время, согласно полученным результатам, содержание германия в углях Кузбасса в среднем не превышает десятых долей грамма на тонну. Повышенные концентрации до 1, 2 г/т отмечены лишь вблизи зон тектонических нарушений [7]. Следовательно, в данном случае извлечение германия будет оправдано экономически только при использовании комплексных технологий извлечения попутных металлов в углях.

Таким образом, используя предложенную авторами настоящей публикации методику подсчета содержания ценных металлов в углях, позволяющую оценивать их запасы по категориям не ниже С₁, а также международную классификацию ООН запасы (ресурсы), можно предложить следующие критерии для оценки экономических запасов попутных полезных компонентов углей Кузбасса. Ценные металлы (Ti, Zr, Ge, Ga, Be, Sc и др.), будут представлять экономический интерес, если их среднее содержание в углях составит от нескольких граммов на тонну и более (при меньших содержаниях возможно только комплексное извлечение), имеются промышленные технологии извлечения этих металлов из отходов угольной продукции, на металлы существует устойчивый спрос на внутреннем и (или) мировом рынках.

В целом можно сделать вывод о том, что основная часть ценных металлов, содержащихся в качестве примесей в углях месторождений Кузбасса, относится, согласно классификации ООН запасы (ресурсы), к категории потенциально-экономических, т.е. перспективна для извлечения и использования в ближайшие годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов С.И., Еришов В.В., Поцелуев А.А., Рихванов Л.П. Редкие элементы в углях Кузбасса. — Кемерово, 1999.
2. Быховский Л.М., Воронаев В.И. Комплексная оценка месторождений — основа рационального использования минерально-сырьевых ресурсов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2004. № 2. С. 16—20.
3. Володарский И.Х., Шницрт М.Я. Распределение германия, молибдена, вольфрама, ванадия и серебра в продуктах факельно-слоевого сжигания угля // Химия твердого топлива. 2001. № 5. С. 78—81.
4. Демидов И.В. Комплексное оруденение Сухаринского железорудного узла и Шерегешевского месторождения Горной Шории // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты. Труды региональной конференции. — Новокузнецк, 2003. С. 141—144.
5. Жданов В.Н. Геолого-технологическая оценка хвостов мокрой магнитной сепарации Мундыбашской и Абагурской ОАФ // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты. Труды региональной конференции. — Новокузнецк, 2003. С. 144—146.
6. Клер В.Р., Волкова Г.А., Гуревич Б.М. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. — М.: Наука, 1987.
7. Краснов О.С., Салихов В.А. Экономическая целесообразность извлечения редких металлов при разработке техногенных месторождений из отходов угольной промышленности в Кузбассе // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2006. № 2. С. 34—42.
8. Кривцов А.И., Беневольский Б.И. О проекте концепций классификации ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых и стадийности геологоразведочных работ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2003. № 1—2. С. 78—85.
9. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию постоянных кондиций для подсчета запасов месторождений углей и горючих сланцев. — М., 2000.
10. Платонов А.Н. Благородная минерализация Казского железорудного месторождения // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе. Экологические, экономические и социальные аспекты. Труды региональной конференции. — Новокузнецк, 2003. С. 139—141.
11. Туркин В.А. Потенциальная металлоносность углей Кузбасса // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2001. № 2. С. 91—96.
12. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы примеси в ископаемых углях. — Л.: Наука, 1985.