



Раздел 4

ГЕОХИМИЯ БЛАГОРОДНЫХ, РЕДКИХ И РАДИОАКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ
В УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ РУДООБРАЗУЮЩИХ СИСТЕМАХ

УДК 553.9:553.072(57+517)

РЕДКОМЕТАЛЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ УГЛЕЙ СЕВЕРНОЙ АЗИИ
(СИБИРЬ, РОССИЙСКИЙ ДАЛЬНИЙ ВОСТОК, КАЗАХСТАН, МОНГОЛИЯ)

С. И. Арбузов, В. С. Машенькин, В. И. Рыбалко, А. Ф. Судыко

Приведен обзор металлоносности углей северной Азии. Угли региона характеризуются высоким редкометалльным потенциалом. Выявлены многочисленные различные по составу и природе редкометалльно-угольные месторождения и проявления. Экономическое значение имеют германиеносные угли. Потенциально перспективны скандийсодержащие, золотоносные и комплексные редкометалльно-угольные месторождения. Распространенные на всей территории уран-угольные проявления и месторождения экономического значения не имеют, но представляют экологическую опасность при использовании этих углей в топливно-энергетическом комплексе.

Ключевые слова: уголь, редкие элементы, металлоносность, комплексные месторождения, северная Азия.

RARE-METAL POTENTIAL OF COALS IN NORTHERN ASIA
(SIBERIA, THE RUSSIAN FAR EAST, KAZAKHSTAN, MONGOLIA)

S. I. Arbuzov, V. S. Mashenkin, V. I. Rybalko, A. F. Sudyko

The paper considers review of the coal rare metal content in Northern Asia. The region coals are characterized by a high rare-metal potential. Abundant, different in composition and nature rare-metal coal deposits and occurrences are revealed. Germanium-bearing coals possess an economic value. Scandium-containing, gold-bearing and complex rare-metal coal deposits are potentially promising. Uranium coal occurrences and deposits, spreading through the whole territory, do not have commercial significance, but they represent an ecological hazard during their use in a fuel and energy complex.

Keywords: coal, rare elements, metal content, complex deposits, Northern Asia.

Общемировая тенденция рационального использования природных ресурсов обусловила стремление к комплексному использованию не только руд, но и органического топлива. Уголь все чаще рассматривается как источник получения большой группы благородных и редких металлов (Ge, Au, Sc, REE и др.). Основным источником германия на мировом рынке сырья по-прежнему остаются германиеносные угли, в которых, помимо Ge, аномально высокие содержания REE, Sb, W, Mo, Rb, Cs и других элементов-примесей [22]. В углях сконцентрированы значительные ресурсы урана и других ценных металлов.

Угольные месторождения северной Азии с начала XX в. рассматриваются как потенциальный источник благородных и редких металлов [9, 17]. В Сибири, Монголии, Казахстане и на Дальнем Востоке открыты месторождения угля

с аномально высокими, а в ряде случаев и с промышленно значимыми содержаниями Ge, Sc, Au, REE, Nb, Ta, Mo и других ценных металлов. Природа этих аномалий различна. По предложенной В. В. Серединым классификации редкометалльных углей [19] выделяются четыре генетических типа: терригенный, туфовый, инфильтрационный и эксфильтрационный. *Терригенный* тип обусловлен поступлением металлов в торфяную залежь из поверхностных вод в ионной и коллоидной форме. *Вулканогенный* тип формируется за счет выпадения на поверхность палеоторфяника пеплового материала кислого или щелочного состава с последующим его захоронением. Пепел, обогащенный группой редких элементов, формирует аномалии соответствующего состава в углях. С ним связывают проявления Nb, Ta, REE, Zr, Hf и других литофильных металлов. *Инфильтрационный* тип связан с поступлением в палеоторфяник или угольный пласт вод зоны гипергенеза,



обогащенных ценными элементами. Такой процесс весьма характерен для уран-угольных месторождений. *Эксфильтрационный* тип обусловлен поступлением и разгрузкой глубинных, в том числе термальных, вод, обогащенных ценными элементами, в торфяную залежь или угольный пласт. Этот тип рудообразования типичен для формирования богатых германий-угольных месторождений с сопутствующими REE, Au, Pt, Sb, As, Hg, W и другими элементами в зависимости от состава рудообразующих растворов.

Германий. Промышленно германиеносные энергетические угли выявлены в Приморском крае (Павловское (Спецугли), Бикинское и Шкотовское месторождения) и в Северном Китае (Вулантуга, Вумучанг и Юмин) [19, 20, 22]. На о. Сахалин отработано Новиковское месторождение. Все они отличаются высокими содержаниями (0,1–1,0 %) и значительными запасами германия (880–4000 т). Аномально германиеносны также Раковское и Лузановское бурогольные месторождения. Помимо Ge в углях установлены высокие содержания Sb, W, Be, Cs, As, Hg и других элементов-примесей. Предполагается, что руды сформировались из металлоносных низкотемпературных растворов в период торфонакопления и диагенеза осадков [7, 19] либо из вод зоны гипергенеза в результате выветривания металлоносных пород в обрамлении угленосных впадин [11].

В Сибири выявлен ряд угольных месторождений с повышенными содержаниями Ge: Тарбагатайское (Забайкальский край), Черногорское (Республика Хакасия) и Касское (Красноярский край). Так как содержания германия в них сравнительно невысокие, в настоящее время они нерентабельны для промышленного освоения. Прогнозные ресурсы Ge в лигнитах Касского месторождения составляют 11000 т [4], в каменных углях Черногорского месторождения 8895 т [13]. Кроме того, в Кузбассе оценены и поставлены на государственный баланс большие запасы германия в коксующихся углях с содержаниями 1,6–3,04 г/т. Однако из-за отсутствия технологии его извлечения из сибирских коксующихся углей эти запасы пока не используются [6].

Скандий. В Сибири, на Дальнем Востоке и в Казахстане сосредоточены значительные ресурсы скандиеносных углей, главным образом на территории Западно-Сибирской плиты. Содержание скандия в золе угля достигает 0,23 %. Наиболее обогащены зола углей в западной части бассейна вблизи Урала. Высокой скандиеносностью отличаются также угли Черногорского (Минусинский бассейн) и Азейского (Иркутский бассейн) месторождений [21]. Отдельные угольные пласты, обогащенные Sc (80–400 г/т), отмечены в Канско-Ачинском бассейне (Бородинское, Саяно-Партизанское, Сереульское и др.). Прогнозные ресурсы его велики и превышают мировое производство на несколько порядков: только в Черногорском

месторождении 13800 т, в Бородинском – 3800 т, в Саяно-Партизанском – 2600 т [1].

Аномально скандиеносные угли установлены на о. Сахалин, в Приморье (Бикинское месторождение), в Казахстане (Каражыра, Карагандинский бассейн) и в Монголии (Шарыногол и Чандгантал) [21].

Уникальные концентрации скандия отмечены в углях Жиганского месторождения Ленского бассейна: до 220 г/т при среднем содержании в угольных пластах 150 г/т [10].

Несмотря на достаточно высокие содержания скандия в золе угля, на значительные ресурсы металла в углях, превышающие мировое потребление на несколько порядков, его запасы не учтены государственным балансом. Производства скандия из угля в ближайшей перспективе не ожидается.

Золото. Золотоносность углей – один из наиболее сложных и дискуссионных вопросов оценки металлоносности угольных месторождений. Промышленных месторождений золота в углях северной Азии не выявлено. Вместе с тем опубликовано множество данных об аномальных его содержаниях в различных угольных месторождениях: в Кузбассе, Минусинском бассейне, Переясловском, Латынцевском и Саяно-Партизанском месторождениях Канско-Ачинского бассейна. Наиболее значительные содержания (до 7 г/т в золе угля) установлены в Западно-Сибирском бассейне [18].

Коллективом специалистов из Амурского центра ДВО РАН опубликованы уникальные данные о количестве золота в углях Дальнего Востока. Согласно их оценкам, в углях Красноярского месторождения содержится 4,5–20,0 г/т Au, Райчихинского – 2,5–9,0 г/т, Павловского – 9,0–35,0 г/т, Харанорского – 4,2–14,3 г/т, Ерковецкого – 6,0–12,0 г/т [15]. Здесь же отмечается и аномальная концентрация платины [5]. Исходя из этих оценок, только в Ерковецком месторождении с запасами 2,5 млрд т угля должно быть сконцентрировано 15–30 тыс. т золота. В более ранних работах показаны еще более фантастические цифры: Райчихинское месторождение – 53 г/т, Огоджинское – 30 г/т, Сергеевское – 17 г/т, Свободненское – 15 г/т [8]. Цифры, безусловно, впечатляющие, но, к сожалению, никакими другими данными они не подтверждены, в связи с чем подвергаются критическому анализу [16]. Проведенное в 2010 г. ревизионное бороздовое опробование углей и углевмещающих пород Ерковецкого (32 пробы), Райчихинского (31 проба) и Харанорского (48 проб) месторождений и анализ концентрации Au методом ИНАА как непосредственно в угле, так и в его золе показало, что содержание золота в угле фоновое на Ерковецком и Харанорском месторождениях, но повышенное на Райчихинском (10–60 мг/т, в единичных пробах до 0,302 г/т в угле и 5,5 г/т в золе угля).



На потенциальную золотоносность углей Дальневосточного региона указывают и результаты изучения золошлаков ТЭС в регионе [2].

Тантал, ниобий, цирконий и лантаноиды. Обычно эти элементы в углях образуют единую ассоциацию. Согласно данным В. В. Середина, ниобиеносные угли выявлены в Приморье и в Кузбассе [14].

В Кузбассе наиболее обогащены Nb, Ta, Zr, Hf и лантаноидами угли пласта XI кемеровской свиты на юге бассейна. Содержание Ta во внутрипластовом прослое алевролитов составляет в среднем 42 г/т, а в отдельных сечениях достигает 71 г/т. Концентрация Nb в золе угля достигает 0,2 %, в среднем для золы угля пласта – 0,0146 %, Zr – 0,6 % и 0,1 % соответственно. Ресурсы тантала здесь превышают 100 т [12]. Такие же аномалии установлены в углях Иркутского и Минусинского бассейнов.

Уран. Различные по масштабу уран-угольные месторождения и проявления повсеместно распространены в северной Азии, наиболее крупные с промышленными запасами урана – это месторождения Нижнеилийское и Кольджат в Казахстане.

Накопление урана в угольных пластах происходит из грунтовых вод в результате эпигенетического рудоотложения инфильтрационного типа. Для формирования таких месторождений более благоприятны условия аридного климата в связи с повышенным содержанием U в водах этой климатической зоны. Однако уран накапливается и в типичных гумидных обстановках. Примером могут служить мелкие месторождения уран-угольного типа в Томской области (Усманское, Яйское и др.).

Месторождения уран-угольного типа промышленного значения пока не имеют в связи с небольшими запасами отдельных месторождений, низким содержанием урана в рудах, малой рентабельностью технологии и экологическими проблемами, связанными с переработкой руд. Однако суммарные ресурсы таких руд огромны. В одном только Канско-Ачинском бассейне запасы сажистых ураноносных углей превышают 87 млн т [3]: при среднем содержании в них урана 0,023 % его ресурсы превышают 20 тыс. т. Велики ресурсы урана в Западно-Сибирском и Иркутском бассейнах и еще более значительны в углях Монголии и Забайкалья.

Таким образом, угли северной Азии обладают высоким редкометалльным потенциалом, в настоящее время почти не востребованным. Учитывая общую тенденцию возрастания спроса на редкометалльное сырье и снижение требований к качеству руд, можно предположить, что в недалеком будущем часть его будет вовлечена в разработку. Для изучения и освоения этого ресурсного потенциала необходима разработка и реализация государственной программы с участием всех заинтересованных сторон.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Арбузов, С. И.** Геохимия редких элементов в углях Сибири [Текст] / С. И. Арбузов, В. В. Ершов. – Томск: Изд. дом «Д-Принт», 2007. – 468 с.
2. **Бакулин, Ю. И.** Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска [Текст] / Ю. И. Бакулин, А. И. Черепанов // Руды и металлы. – 2003. – № 1. – С. 60–67.
3. **Гаврилин, К. В.** Канско-Ачинский угольный бассейн [Текст] / К. В. Гаврилин, А. Ю. Озерский. – М.: Недра, 1996. – 272 с.
4. **Евдокимов, А. П.** Германиеносные лигниты юго-восточной окраины Западно-Сибирской плиты [Текст] / А. П. Евдокимов, А. Ю. Озерский, А. Г. Еханин // Разведка и охрана недр. – 2004. – № 6. – С. 26–29.
5. **Закономерности** формирования благородно- и редкометалльного оруденения в кайнозойских угленосных отложениях юга Дальнего Востока [Текст] / А. П. Сорокин, В. И. Рождественна, В. М. Кузьминых [и др.] // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54. – № 7. – С. 876–893.
6. **Кац, А. Я.** Германий – минерально-сырьевая база Российской Федерации [Текст] / А. Я. Кац, А. А. Кременецкий, О. И. Подкопаев // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 1998. – № 3. – С. 5–9.
7. **Костин, Ю. П.** К генезису месторождений высокогерманиеносных углей и критериям их поисков [Текст] / Ю. П. Костин, Е. С. Мейтов // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1972. – № 1. – С. 112–119.
8. **Кузьминых, В. М.** Миграция и накопление золота при гипергенных процессах / В. М. Кузьминых, А. П. Сорокин [Текст] // Вестн. ДВО РАН. – 2004. – № 2. – С. 113–119.
9. **Кулибин, К. А.** Драгоценные металлы в каменном угле [Текст] / К. А. Кулибин // Золото и платина. – 1908. – № 24. – С. 510–511.
10. **Парагенетические** ассоциации редкоземельных элементов в мезозойских углях северной части Ленского бассейна [Текст] / В. А. Каширцев, И. Н. Зуева, В. С. Сукнев [и др.] // Отечественная геология. – 1999. – № 4. – С. 65–68.
11. **Редкие** металлы в бурогольных месторождениях Приморья и их ресурсный потенциал [Текст] / В. И. Вялов, А. И. Ларичев, Е. В. Кузеванова [и др.] // Региональная геология и металлогения. – 2012. – № 51. – С. 96–105.
12. **Редкие** элементы в углях Кузнецкого бассейна [Текст] / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, А. А. Поцелуев, Л. П. Рихванов. – Кемерово: Полиграфкомбинат, 2000. – 248 с.
13. **Редкометалльный** потенциал углей Минусинского бассейна [Текст] / С. И. Арбузов, В. В. Ершов, Л. П. Рихванов [и др.] – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «Гео», 2003. – 347 с.
14. **Середин, В. В.** Первые данные об аномальных концентрациях ниобия в углях России



[Текст] / В. В. Середин // Докл. РАН. – 1994. – Т. 335, № 35. – С. 634–636.

15. **Сорокин, А. П.** Золото в бурых углях: условия локализации, формы нахождения, методы извлечения [Текст] / А. П. Сорокин, В. М. Кузьминых, В. И. Рождествина // Геохимия – 2009. – Т. 424, № 2. – С. 239–243.

16. **Степанов, В. А.** Существуют ли ураганные концентрации золота в угольных месторождениях верхнего Приамурья и Сибири? [Текст] / В. А. Степанов // Руды и металлы. – 2010. – № 2. – С. 66–68.

17. **Шахов, Ф. Н.** К геохимии углей Кузнецкого бассейна [Текст] / Ф. Н. Шахов, М. Э. Эфенди // Докл. АН СССР. – 1946. – Т. LI, № 2. – С. 135–136.

18. **Anomalous** gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian Platform [Text] / S. I. Arbuzov, L. P. Rikhva-

nov, S. G. Maslov [et al.] // Int. J. Coal Geol. – 2006. – Vol. 68, N 3–4. – P. 127–134.

19. **Coal** deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies [Text] / V. V. Seredin, S. Dai, Y. Sun, I. Yu. Chekryzhov // Applied Geochemistry. – 2013. – N 31. – P. 1–11.

20. **New** data on mineralogy and geochemistry of high-Ge coals in the Yimin coalfield, Inner Mongolia, China [Text] / J. Li, X. Zhuang, X. Querol [et al.] // Int. J. of Coal Geol. – 2014. – Vol. 125. – P. 10–21.

21. **Scandium** (Sc) geochemistry of coals (Siberia, Russian Far East, Mongolia, Kazakhstan, and Iran) [Text] / S. I. Arbuzov, A. V. Volostnov, A. M. Mezhibor [et al.] // Int. J. Coal Geol. – 2014. – Vol. 125 – P. 22–35.

22. **Seredin, V. V.** Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types [Text] / V. V. Seredin, R. B. Finkelman // Int. J. of Coal Geol. – 2008. – Vol. 76. – P. 253–289.

© С. И. Арбузов, В. С. Машенькин,
В. И. Рыбалко, А. Ф. Судыко, 2014