

РУДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ИСКОПАЕМЫХ УГЛЯХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Г.П. Сидорова¹, П.Б. Авдеев¹, А.А. Якимов¹, П.М. Маниковский¹

¹ Забайкальский государственный университет, Чита, Россия, e-mail: druja@inbox.ru

Аннотация: Приведены общие сведения о наличии и особенностях накопления рудных элементов в ископаемых углях с позиции генезиса месторождений Забайкалья. Представлены данные, касающиеся наличия и содержания галлия, германия и бериллия в ископаемых углях Забайкалья — кларковое, среднее фоновое содержание. Также проанализированы наиболее перспективные месторождения Забайкалья, содержащие эти элементы. Дана характеристика забайкальской металлогенической провинции на урановое оруденение и его влияние на содержание урана в ископаемых углях. Приведены общие данные об угольных месторождениях как источнике редкоземельных элементов. Отмечено, что отдельные участки месторождений Забайкалья содержат в повышенных концентрациях ниобий, стронций и бор, однако оценка запасов и перспективы их извлечения требуют специальных исследований. Отмечено наличие в ископаемых углях благородных металлов — золота, серебра и платиноидов, причем имеющиеся данные свидетельствуют об их крайне неравномерном распределении в углях, что затрудняет выявление особенностей генезиса, закономерностей размещения этих элементов в пределах месторождений, при этом принятие однозначного решения о перспективах их использования является на данный момент весьма затруднительным. Приведены сведения о перспективах дальнейшего изучения месторождений ископаемых углей Забайкалья на благородные металлы. Даны общие сведения о наличии и содержании в углях вольфрама и молибдена. Обоснована необходимость дальнейшего детального изучения углей Забайкальского региона на рудные элементы с целью использования их как комплексного минерального сырья.

Ключевые слова: ископаемый уголь, месторождения Забайкалья, элементы-примеси, редкоземельные элементы, платиноиды, золото, уран.

Благодарность: Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, № 18-05-00397.

Для цитирования: Сидорова Г. П., Авдеев П. Б., Якимов А. А., Маниковский П. М. Рудные элементы в ископаемых углях месторождений Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2020. – № 10. – С. 79–85. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-79-85.

Presence of metal elements in Transbaikal coals

G.P. Sidorova¹, P.B. Avdeev¹, A.A. Yakimov¹, P.M. Manikovsky¹

¹ Transbaikal State University, Chita, Russia, e-mail: druja@inbox.ru

Abstract: General information on the presence and features of metal elements in coal is given in terms of genesis of coal deposits in Transbaikal area. The presence and contents of gallium, germanium and beryllium in Transbaikal coals are described using the values of the abundance

ratio and average background content. The most promising deposits in terms of content of these elements in Transbaikal area are reviewed. Uranium mineralization and its influence on uranium content of coal in Transbaikal metallogenic province are characterized. General data on coal deposits as sources of rare earth elements are given. Some areas in Transbaikal deposits hold high concentrations of niobium, strontium and boron. Appraisal and recoverability of these elements need special research. Coals also contain noble metals of gold, silver and platinum. The available data are reflective of nonuniform spread of these metals in coal, which makes difficult to identify genesis and distribution patterns of these elements within the limits of coal deposits. In the meanwhile, it is hard to make an unambiguous decision on the use prospects of these elements. The possibilities of further studies into contents of noble metals in coal deposits in Transbaikal are discussed. General data on the presence and content of tungsten and molybdenum are given. The further detailed research into metal elements in Transbaikal coal with a view to using them as composite mineral resources is justified.

Key words: coal, Transbaikal deposits, foreign elements, rare earth element.

Acknowledgements: The study was supported by the Russian Foundation for Basic Research, Grant No. 18-05-00397.

For citation: Sidorova G. P., Avdeev P. B., Yakimov A. A., Manikovskiy P. M. Presence of metal elements in Transbaikal coals. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(10):79-85. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2020-10-0-79-85.

Введение

Угольные месторождения Забайкалья приурочены к позднемезозойским тектоническим впадинам, в бортах которых расположены области сноса обломочного материала, состоящего из разнообразных магматических, метаморфических и осадочных пород. Высокие концентрации микроэлементов в углях, обусловленные размывом в областях сноса рудных проявлений или месторождений, сопряженных с угленосными отложениями, отмечаются на многих примерах. Так, угольные месторождения Центральной Монголии имеют повышенные содержания элементов-примесей, среди которых наиболее высокие концентрации имеет вольфрам [1]. Он проявляется во всех угольных пластах месторождения с содержанием до 1% при среднем его значении около 0,2%. Источником промышленных содержаний вольфрама в углях являются 16 вольфрамовых проявлений, расположенных в приобортовых частях угленосной депрессии.

В углях Забайкальской провинции установлены следующие попутные рудные элементы: вольфрам, молибден, цинк, свинец, золото, серебро, галлий, редкоземельные элементы, платиноиды, уран, олово, ванадий, титан, никель, кобальт, медь, бериллий, литий, стронций, скандий, иттрий, цирконий, ниобий, тантал.

Редкие элементы

Из группы редких элементов, целесообразно рассмотреть галлий и бериллий, содержащиеся в углях Забайкалья в повышенных концентрациях. Среднее фоновое содержание галлия в углях составляет 10 г/т, локально-высокое 30 г/т, предельное 500 г/т угля. Кларк галлия в глинистых породах 30 г/т. Коэффициент фоновой концентрации по отношению к кларку 0,3. Галлий может рассматриваться как потенциально ценный элемент в угле. Он является постоянным спутником германия. Свойства германия и галлия очень близки. Минимальное содержание галлия для оценки его ис-

пользования в промышленности принято 20 г/т в расчете на сухой уголь и в золе углей — 100 г/т. Так же, как и другие рудные элементы, галлий распространен в углях крайне неравномерно, на отдельных участках образуя локальные повышенные концентрации.

Повышенные концентрации галлия отмечаются в германийсодержащих углях. Среднее содержание галлия в золе германийсодержащих углей составляет 77 г/т, а в углях, не содержащих германий, — 22,8 г/т. Наибольшие содержания галлия в рассматриваемом регионе приурочены к богатому германием Тарбагатайскому угольному месторождению. Установлено, что среднее отношение германий – галлий в углях, содержащих германий, составляет 1:0,2, в углях, не содержащих германий, — 1:3,5. Галлий отличается широким распространением в углях. Его коэффициент встречаемости равен 80–100%.

В бурых углях Забайкалья отмечаются повышенные содержания бериллия. Наличие его в углях не случайно и обусловлено пространственной обнаженностью угольных и редкометалльных месторождений. Последние включают промышленные запасы бериллия и входят в состав крупнейшей в России Забайкальской бериллиеносной провинции.

Концентрация бериллия имеет практическое значение. В золах углей Тарбагатайского и Мордойского месторождений, богатых германием, содержание бериллия, соответственно, равно 28 и 50 г/т. В золе углей отдельных локальных участков и пластов Красночуйского месторождения — 27 г/т, Зашуланского — 31–45 г/т, Пограничного — 25–64 г/т, Бадинского — 38 г/т и Буртуйского — 21 г/т. Высокие содержания бериллия отмечаются в углях Читкандинского месторождения — 300 г/т.

Для Забайкальской металлогенической провинции характерно урановое

оруденение. В ее пределах известны промышленные месторождения и рудопроявления урана. Поскольку некоторые крупные урановые месторождения тесно связаны с углями (США, Германия, Швеция и др.), то можно ожидать и в Забайкальском регионе значительных концентраций урана в угольных месторождениях. Уртуйское угольное месторождение, расположенное вблизи Стрельцовского уранового узла, включает запасы угля с повышенными содержаниями урана. Провинция перспективна для урано-угольных месторождений, особенно находящихся вблизи промышленных месторождений урана [11, 12].

На отдельных локальных участках угольных месторождений региона отмечаются повышенные содержания ниобия, стронция и бора. Однако из-за низкой изученности их распределения в углях, форм нахождения и отсутствия технологических решений по извлечению этих элементов сделать какие-либо выводы по их использованию возможно только после проведения специальных исследований.

Редкоземельные элементы

Несмотря на незначительные содержания, редкоземельные элементы (РЗЭ) широко распространены в углях. Так, по данным опробования товарных углей действующих угледобывающих предприятий и обогатительных фабрик [2] РЗЭ отмечаются почти во всех угольных месторождениях России. Они имеют очень высокий коэффициент встречаемости, часто достигающий 95–100%.

Некоторые угольные месторождения Забайкалья имеют повышенные содержания РЗЭ. По содержанию основных редкоземельных элементов особенно отличаются Апсатское, Читкандинское, а также Харанорское и Уртуйское месторождения. Высокие содержания РЗЭ отмечаются в золе углей Нерчуганского

месторождения, где сумма РЗЭ достигает 800 г/т.

Однако на многих угольных месторождениях региона редкоземельные и другие редкие элементы пока еще не изучены.

Благородные металлы

Из группы благородных металлов в углях установлены золото, серебро и платиноиды. Данных по определению их концентраций и размещению недостаточно, а имеющиеся анализы на благородные металлы свидетельствуют о крайне неравномерном их распределении в углях. Это затрудняет выявление закономерностей их размещения, образования и решения о перспективах их использования.

По данным В.Р. Клера (1988) и С.И. Арбузова (2003) предельные содержания золота в углях могут составлять 40 г/т, и золото может рассматриваться как потенциально ценный элемент угля [3, 4].

Среднее фоновое содержание серебра в углях составляет 0,1 г/т, локально-высокое — 1–10 г/т, максимально-предельное — 40 г/т. Кларк серебра в глинистых породах — 0,07 г/т, коэффициент концентрации фоновых содержаний по отношению к кларку глинистых пород — 1,43.

Во многих пробах угля Забайкалья устанавливается повышенная золотонность, обусловленная постоянным присутствием золота в пределах Забайкальской металлогенической провинции. Из 104 выделенных здесь рудных узлов 48 имеют четкую геохимическую специализацию (золото) [3, 7].

В единичных пробах угольных месторождений Забайкальского края установлены повышенные содержания платиноидов, представленных платиной, палладием и рутением. Наличие повышенных содержаний платиноидов в углях Апсатского и Читкандинского ме-

сторождений не случайны и обусловлены находением угольных месторождений вблизи площадей, включающих медные месторождения и рудопроявления с высокими содержаниями элементов платиновой группы (Чинейский и другие массивы основных пород).

Легирующие и цветные металлы

В группе легирующих и цветных металлов, в углях региона с различной степенью детальности рассматриваются вольфрам, молибден, титан, цинк и свинец, характерные для Забайкальской металлогенической провинции. Среднее фоновое содержание вольфрама в углях составляет 4 г/т, локально-высокое — 150 г/т, предельное — 1500 г/т. Кларк вольфрама в глинистых породах — 2 г/т. Коэффициент фоновой концентрации по отношению к кларку — 2. Вольфрам рассматривается как потенциально ценный элемент в угле. Для оценки использования его в промышленности минимальное содержание принято 30 г/т в расчете на сухой уголь, в золе углей 150 г/т. Вольфрам в углях распространен крайне неравномерно, причем обычно характеризуется околокларковыми содержаниями. Однако на фоне низких его концентраций выделяются участки с повышенными и реже высокими содержаниями.

Угли Забайкалья характеризуются повышенными содержаниями вольфрама, что согласуется с широким распространением вольфрамового оруденения в Забайкальской металлогенической провинции. Коэффициент встречаемости вольфрама в рудных углях провинции довольно высок и составляет 77% [5, 8, 9].

В группе германийсодержащих угольных месторождений отмечаются содержания вольфрама в золе углей от 40 до 315 г/т. Высокие содержания вольфрама выделены в углях Новиковского и Ангрэнского месторождений.

В золах угольных месторождений региона отмечаются концентрации молибдена от 15 до 140 г/т, свинца — от 5 до 60 г/т, цинка — от 60 до 350 г/т при среднем его значении около 150 г/т, повышенные концентрации титана в золе углей наблюдаются в Татауровском (6 кг/т), Тарбагатайском (3,5 кг/т), Олонь-Шибирском (6 кг/т), Апсатском (5,6 кг/т), Читкандинском (5 кг/т), Мордойском (15 кг/т) и других месторождениях угля [3, 8].

Заключение

Проблема комплексного использования ископаемых углей как источника рудных элементов заключается, прежде всего, в том, что рудные элементы в углях обычно имеют небольшие содержания, поэтому извлечение одного какого-либо элемента экономически нецелесообразно. Отсюда переработка углей, содержащих металлы, должна осуществляться для комплекса рудных элементов. В связи с этим установление зако-

номерностей распределению редких и рассеянных элементов и выделение их ассоциаций в угольных месторождениях имеют большое значение для разработки технологических схем извлечения металлов.

Анализ размещения ценных рудных элементов в угольных месторождениях Забайкалья, условий накопления и форм их вхождения в различные компоненты углей позволяет дать геологическую, технологическую и экономическую характеристику металлоносным углям как крайне перспективному сырью, на базе которого возможно создание мощных высокотехнологичных производств, что положительно скажется на экономическом состоянии региона. Однако для реализации этого необходим значительный объем дополнительных целевых исследований как объектов разработки, — месторождений металлоносных песков, — так и технологий получения конечного продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Осокин П. В.* Элементы-примеси в бурых углях одного месторождения Центральной Монголии / Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья. Вып. 3 (5). Чита: Забайк. фил. Геогр. об-ва СССР, 1968. — С. 144–146.
2. *Ценные и токсичные элементы в товарных углях России.* Справочник. — М.: Недра, 1996. — 238 с.
3. *Клер В. Р.* Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. — М.: Наука, 1988. — 256 с.
4. *Арбузов С. И., Маслов С. Г., Рихванов Л. П., Судыко А. Ф.* Формы концентрирования золота в углях Сибири // Геология и охрана недр. — 2003. — № 3. — С. 15–19.
5. *Внуков А. В., Адмакин Л. А.* Литолого-фациальные и геохимические условия накопления германия в углях Забайкалья. — Чита: ЗабНИИ, 1967. — 363 с.
6. *Федоров А. В.* Комплексное использование углей месторождений Забайкалья для получения микроэлементов. — М.: ИМГРЭ, 1989. — 120 с.
7. *Барабашева Е. Е., Брылева М. С.* К вопросу о формах нахождения и механизмах концентрирования золота углями на примере угольных месторождений Забайкалья // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — № 9. — С. 194–203.
8. *Sidorova G. P., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V.* Content of microelements in brown coals of Transbaikal Region // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 272. Article 032042. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032042.
9. *Сидорова Г. П., Якимов А. А., Овчаренко Н. В., Гущина Т. О.* Редкие и рассеянные элементы в углях Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. — 2019. — Т. 25. — № 2. — С. 26–33.

10. Наркелюн Л. Ф., Офицеров В. Ф. Комплексное использование ископаемых углей. — Чита: ЧитГТУ, 2000. — 270 с.
11. Suhana J., Mohd R. Analysis of natural radioactivity in coal and ashes from a coal fired power plant // *Chemical Engineering Transactions*. 2015. Vol. 45. Pp. 1549-1554. DOI: 10.3303/ CET1545259.
12. Сидорова Г. П., Овчаренко Н. В. Оценка радиационного состояния территории Уртуйского бурогоугольного разреза // *Горный информационно-аналитический бюллетень*. — 2018. — № 1. — С. 92 — 100. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-92-100.
13. Арбузов С. И., Волостнов А. В., Ершов В. В. и др. Геохимия и металлоносность углей Красноярского края. — Томск: STT, 2008. — 300 с.
14. Середин В. В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения / Угольная база России. Т. VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. — М.: Геоинформмарк, 2004. — С. 453 — 518.
15. Юдович Я. Э., Кетрис М. П. Ценные элементы-примеси в углях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 538 с.
16. Hubbard T. E., Miller T. R., Hower J. C. The upper hance coal bed in southeastern Kentucky: palynologic, geochemical, and petrographic evidence for environmental succession // *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol. 49. No 2–3. Pp. 177 — 194.
17. Karayigit A. I., Gayer R. A., Ortac F. E., Goldsmith S. Trace elements in the Lower Pliocene fossiliferous Kanglal lignithes, Sivas, Turkey // *International Journal of Coal Geology*. 2001. Vol. 47. No 2. Pp. 73 — 89.
18. Zhang J., Ren D., Zheng C., Zeng R., Chou C. L., Liu J. Trace Element abundances in major minerals of Late Permian coals from southwestern Guizhou province, China // *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol. 53. No 1. Pp. 55 — 64. **ИДБ**

REFERENCES

1. Osokin P. V. Foreign elements in lignite from a deposit in Central Mongolia. *Voprosy geologii Pribaykal'ya i Zabaykal'ya* [Baikal and Transbaikal regions: Geology considerations], Vol. 3 (5). Chita, 1968, pp. 144 — 146.
2. *Tsenyye i toksichnyye elementy v tovarnykh uglyakh Rossii*. Spravochnik [Valuable and toxic elements in marketable coals of Russia. Handbook], Moscow, Nedra, 1996, 238 p.
3. Kler V. R. *Metallogeniya i geokhimiya uglunosnykh i slantsesoderzhashchikh tolshch SSSR. Zakonomernosti kontsentratsii elementov i metody ikh izucheniya* [Metallogeny and geochemistry of coal-bearing and shale-containing strata in the USSR. Concentration patterns of elements and methods of analysis], Moscow, Nauka, 1988, 256 p.
4. Arbuzov S. I., Maslov S. G., Rikhvanov L. P., Sudyko A. F. Gold concentration forms in coals of Siberia. *Geologiya i okhrana nedr*. 2003, no 3, pp. 15–19.
5. Vnukov A. V., Admakin L. A. *Litologo-fatsial'nye i geokhimicheskie usloviya nakopleniya germaniya v uglyakh Zabaykal'ya* [Lithology, facies and geochemistry of germanium accumulation in Transbaikal coals], Chita, ZabNII, 1967, 363 p.
6. Fedorov A. V. *Kompleksnoe ispol'zovanie ugley mestorozhdeniy Zabaykal'ya dlya polucheniya mikroelementov* [Integrated use of Transbaikal coals for production of microelements], Moscow, IMGRE, 1989, 120 p.
7. Barabasheva E. E., Bryleva M. S. Occurrence forms and concentration mechanisms of gold in coal in terms of the coal fields in Transbaikal area. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2016, no 9, pp. 194 — 203. [In Russ].
8. Sidorova G. P., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V. Content of microelements in brown coals of Transbaikal Region. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2019. Vol. 272. Article 032042. DOI: 10.1088/1755-1315/272/3/032042.
9. Sidorova G. P., Yakimov A. A., Ovcharenko N. V., Gushchina T. O. Rare and trace elements in Transbaikal coals. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta*. 2019. Vol. 25, no 2, pp. 26 — 33. [In Russ].

10. Narkelyun L. F., Ofitserov V. F. *Kompleksnoe ispol'zovanie iskopaemykh ugley* [Integrated use of coals], Chita, ChitGTU, 2000, 270 p.
11. Suhana J., Mohd R. Analysis of natural radioactivity in coal and ashes from a coal fired power plant. *Chemical Engineering Transactions*. 2015. Vol. 45. Pp. 1549-1554. DOI: 10.3303/CET1545259.
12. Sidorova G. P., Ovcharenko N. V. Assessment of radiological situation in the area of Urtui open pit lignite mine. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2018, no 1, pp. 92 – 100. [In Russ]. DOI: 10.25018/0236-1493-2018-1-0-92-100.
13. Arbuzov S. I., Volostnov A. V., Ershov V. V. *Geokhimiya i metallonosnost' ugley Krasnoyarskogo kraja* [Geochemistry and metal content of coals in the Krasnoyarsk Krai], Tomsk, STT, 2008, 300 p.
14. Seredin V. V. Metal content of coal: Formation conditions and development prospects. *Ugol'naya baza Rossii*. T. VI. [Coal reserves and resources in Russia. Vol. VI], Moscow, Geoinformmark, 2004, pp. 453 – 518.
15. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Tsennye elementy-primesi v uglyakh* [Valuable foreign elements in coals], Ekaterinburg, UrO RAN, 2006, 538 p.
16. Hubbard T. E., Miller T. R., Hower J. C. The upper hance coal bed in southeastern Kentucky: palynologic, geochemical, and petrographic evidence for environmental succession. *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol.49. No 2–3. Pp. 177 – 194.
17. Karayigit A. I., Gayer R. A., Ortac F. E., Goldsmith S. Trace elements in the Lower Pliocene fossiliferous Kanglall lignites, Sivas, Turkey. *International Journal of Coal Geology*. 2001. Vol. 47. No 2. Pp. 73 – 89.
18. Zhang J., Ren D., Zheng C., Zeng R., Chou C. L., Liu J. Trace Element abundances in major minerals of Late Permian coals from southwestern Guizhou province, China. *International Journal of Coal Geology*. 2002. Vol. 53. No 1. Pp. 55 – 64.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Сидорова Галина Петровна*¹ — д-р техн. наук, профессор, инженер-геолог, e-mail: druja@inbox.ru,
*Авдеев Павел Борисович*¹ — д-р техн. наук, профессор, горный инженер, e-mail: chita-apb@yandex.ru,
*Якимов Алексей Алексеевич*¹ — канд. техн. наук, доцент, горный инженер, e-mail: yaa76@yandex.ru,
*Маниковский Павел Михайлович*¹ — аспирант, e-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
¹ Забайкальский государственный университет.
Для контактов: Сидорова Г.П., e-mail: druja@inbox.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*G.P. Sidorova*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Engineer-Geologist, e-mail: druja@inbox.ru,
*P.B. Avdeev*¹, Dr. Sci. (Eng.), Professor, Mining Engineer, e-mail: chita-apb@yandex.ru,
*A.A. Yakimov*¹, Cand. Sci. (Eng.), Assistant Professor, Mining Engineer, e-mail: yaa76@yandex.ru,
*P.M. Manikovskiy*¹, Graduate Student, e-mail: manikovskiymp@yandex.ru,
¹ Transbaikal State University, 672039, Chita, Russia.
Corresponding author: G.P. Sidorova, e-mail: druja@inbox.ru.

Получена редакцией 29.04.2020; получена после рецензии 17.06.2020; принята к печати 20.09.2020.
 Received by the editors 29.04.2020; received after the review 17.06.2020; accepted for printing 20.09.2020.