

## ПРИРОДА РЕДКОМЕТАЛЛЬНОГО Nb-Zr-Ta-Hf-РЗЭ ОРУДЕНЕНИЯ В УГЛЯХ ПЛАСТА XXX ИЗЫХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (МИНУСИНСКИЙ БАССЕЙН)

В.В. Саквина, А.В. Вергунов

Научный руководитель - профессор С.И. Арбузов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Уголь является геохимическим барьером, обуславливающим накопления различных химических элементов, благоприятен для формирования в угольных пластах геохимических аномалий. Высокий спрос на редкие металлы и появление новых технологий переработки сырья дают зеленый свет для освоения новых типов редкометалльно-угольных месторождений [4, 8].

Впервые Nb-Ta-Zr-Hf-РЗЭ оруденение было выявлено 1989 г. В.В. Ершовым в углях Кузнецкого бассейна, но детального исследования не проводилось из-за ограниченных технических возможностей. Позднее подобного типа руды были выделены в углях Минусинского бассейна [1]. В последнее десятилетие этот комплекс элементов был отмечен в близких по составу рудах Китая [5, 6].

В данной работе исследованы основные минералого-геохимические особенности Nb-Ta-Zr-Hf-РЗЭ оруденения в углях Минусинского бассейна на примере XXX пласта и рассмотрена природа его формирования.

Минусинский угольный бассейн расположен в одноименной котловине, окруженной среднегорными сооружениями Кузнецкого Алатау на западе, Западного Саяна – на юге и юго-востоке и Восточного Саяна – на востоке [3]. Угленосная формация бассейна включает отложения от нижнего карбона до верхней перми включительно. Объектом исследования Минусинского бассейна послужил пласт XXX, который сохранился от эрозии лишь в центральной части Изыхского каменноугольного месторождения. Пласт XXX имеет сложное строение, состоит из нескольких угольных пачек, разделенных породными прослоями.

Определение содержания химических элементов в углях и золе углей проводилось инструментальным нейтронно-активационным анализом (ИНАА) и методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Полученные данные обрабатывались методом математической статистики и рассчитывались средние значения. Для оценки содержания элементов-примесей в угольном пласте была использована методика расчета средневзвешенного содержания с учетом мощности интервалов опробования. Результаты исследований углей пласта XXX Изыхского месторождения (Минусинский бассейн).

Сравнение содержания химических элементов с кларком для угля и золы угля [7] показывает следующее: все редкоземельные элементы превышают кларк в 3-4 раза как для угля, так и для золы угля; Zr и Nb – в 9 раз для угля и 7 и 11 раз соответственно для золы угля; Y – в 5 раз; Hf – в 7 раз для угля и в 3 раза для золы угля; Ta – в 2 раза. Ряд элементов превышает кларк примерно в 2-3 раза: Li, Be, Ni, Zn, Ga, Se, Sr, Mo, Ba и Pb.

На рис. 1 представлено распределение химических элементов в разрезе XXX пласта, которое показывает, что аномальные концентрации Ta-Nb-Zr-Hf-REE сосредоточены на контакте с породными прослоями, которые представлены преобразованным вулканическим материалом – тонштейнами. Высокие концентрации над и под тонштейновыми горизонтами говорят о перераспределении химических элементов при помощи водных растворов в процессе преобразования пирокластики при формировании угольного пласта. Данные особенности распределения были отмечены в углях XI пласта Кузнецкого бассейна [4].

Особого внимания заслуживает породный прослой между угольными пачками в пласте XXX Изыхского месторождения Минусинского бассейна, который обогащен Ta, Nb, Zr, Hf, REE. Отмечаются аномальные концентрации этих элементов в золе угля на контакте с породным прослоем. При этом в самом прослое содержания ниже, чем в золе угля приконтактных зон (рис.).

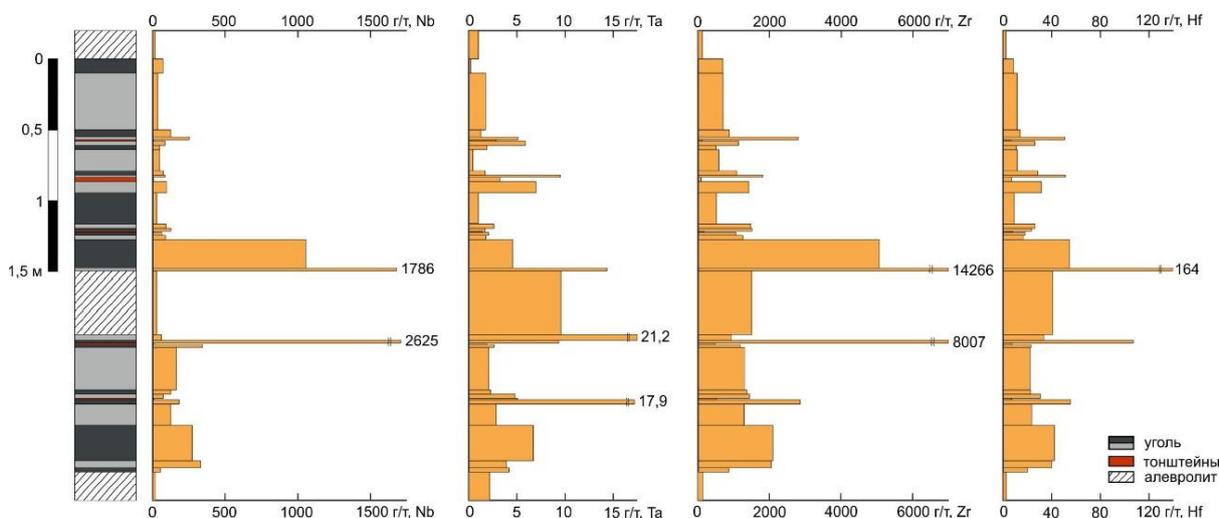


Рис. Распределение Nb, Ta, Zr, Hf по золе в разрезе пласта XXX

Основными концентраторами REE как в пробах угля, так и во вмещающих породах выступают фосфатные минералы, преимущественно, монацит. Кристаллы циркона сосредоточены в алюмосиликатном веществе угля. А также повсеместно распространены оксиды титана с примесью Nb и Zr. Данные подтверждены электронной микроскопией.

Восстановить палеогеохимическую обстановку времени формирования исходного материала, из которого сформировались тонштейны, не представляется возможным, т.к. породные прослои подвергались сильному изменению. Согласно исследованиям Д.А. Спирса при преобразовании пеплового материала в тонштейн, происходит потеря Si, Na и K [9]. Для реставрации состава исходного вещества используется комплекс методов основанных на соотношении инертных элементов, таких как Ti, Nb, Zr, Y.

Существует несколько методов восстановления исходного состава вулканогенной пирокластике, тонштейнов. Одним из них является классификационная диаграмма Винчестера и Флойда [11], а также  $TiO_2/Al_2O_3$  отношение [10]. Исследования по этим методам показали, что тонштейны XXX пласта сформировались из пирокластики кислого состава щелочного ряда [2]. Породные прослои XI пласта Кузнецкого бассейна имеют похожий исходный состав пирокластики [4]. Это доказывает, что Кузнецкий и Минусинский бассейны схожи по химическому составу и факторам, влияющих на распределение редких элементов в угле и вмещающих породах.

Сравнив содержания химических элементов в золе и угле с минимально-промышленными содержания, можно сделать вывод о том, что Se, Y, Zr, Nb, Yb, Hf, Ta пригодны для промышленного извлечения как из угля, так и из золы. Рентабельность переработки может быть достигнута путем извлечения углей из недр и использования высокоэнергетического угля в качестве топлива на ТЭС. А полученные золошлаки подлежат комплексной переработке с извлечением группы редких металлов. Но к сожалению на данном этапе научно-технического прогресса, извлечение редких металлов из золы углей является экономически не выгодным аспектом.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-35-90010.*

#### Литература

1. Арбузов С.И., Ершов В.В., Рихванов Л.П., Усова Т.Ю., Кяргин В.В., Булатов А.А., Дубовик Н.Е. Редкометалльный потенциал углей Минусинского бассейна. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 347с.
2. Вергунов А.В. Роль щелочной пирокластики в формировании редкометалльных углей Минусинского и Кузнецкого бассейнов // «Новое в познании рудообразования», ИГЕМ РАН, Москва, 2019. С. 81-82.
3. Угольная база России. Т.3. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири. – М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.
4. Arbuzov S. I., Spears D.A., Vergunov A.V. et al. Geochemistry, mineralogy and genesis of rare metal (Nb-Ta-Zr-Hf-Y-REE-Ga) coals of the seam XI in the south of Kuznetsk Basin, Russia // *Ore Geology Reviews*. – 2019. – Т. 113. – С. 103073.
5. Dai S., Zhou Y., Zhang M., Wang X., Wang J., Song X., Jiang Y., Luo Y., Song Z., Yang Z., Ren D. A new type of Nb (Ta)Zr(Hf)-REE-Ga polymetallic deposit in the late Permian coal-bearing strata, eastern Yunnan, southwestern China: Possible economic significance and genetic implications // *Int. J. of Coal Geology*. 2010. V. 83. P. 55-63.
6. Dai S., Ren D., Chou C.-L., Finkelman R.B., Seredin V.V., Zhou Y. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: a review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization // *Int. J. of Coal Geology*. 2012. V. 94. P. 3-21.
7. Ketris M.P., Yudovich Y.E. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world average for trace element contents in black shales and coals // *Int. J. of Coal Geology*. 2009. V. 78. P.135-148. <https://doi.org/10.1007/s11631-015-0053-7>.
8. Seredin V., Finkelman R. Metalliferous coals: a review of the main genetic and geochemical types // *Int. J. Coal Geol.* 2008. V. 76. P. 253-289.
9. Spears D.A. The origin of tonsteins, an overview, and links with seatearths, fireclays and fragmental clay rocks // *Int. J. Coal Geology*. 2012. V. 94. P. 22-31.
10. Spears D.A., Kanaris-Sotiriou R.A. Geochemical and mineralogical investigation of some British and other European tonsteins. // *Sedimentology*. – 1979. – V. 26. – P. 407-425.
11. Winchester J.A., Floyd P.A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements // *Chemical Geology*. – 1977. – Vol. 20. – P. 325-343.