

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ УГЛЕЙ СИБИРИ

С.И. Арбузов

Томский политехнический университет
E-mail: siarbuzov@mail.ru

Обобщены результаты многолетних исследований металлоносности углей Сибири. Определена геохимическая специализация угольных бассейнов и месторождений. Установлено, что угли Сибири перспективны на выявление промышленных месторождений Au, Sc, Ge и литофильных редких металлов (Zr, Hf, Y, Nb, Ta, U и лантаноидов). Выполнена оценка перспектив промышленного освоения ресурсов редких металлов в углях и отходах их использования в регионе.

Введение

В Сибирском регионе сосредоточена значительная часть мировых ресурсов угля. Уникальный ресурсный потенциал и высокие перспективы роста угледобычи требуют научно обоснованного подхода к дальнейшему его освоению.

Ископаемые угли способны накапливать значительные количества элементов-примесей, нередко достигающих промышленно значимых концентраций. В углях России известны промышленные концентрации Ge, U, Au, Sc, Pt, Nb, лантаноидов и других элементов [1–14]. Выявление угольных бассейнов, месторождений и отдельных пластов с промышленно значимыми и экологически опасными содержаниями элементов-примесей — одна из главных задач угольной геохимии и минералистики. По сути — это поисковая задача.

В современных прогнозно-металлогенических и поисковых геохимических исследованиях для оценки потенциальной рудоносности геологических блоков, структур и горных пород используется понятие геохимическая специализация. Принято выделять геохимическую специализацию 1 и 2 рода [15]. Специализация первого рода оценивается по коэффициенту концентрации элемента в исследуемом геологическом блоке (горной породе) по отношению к кларку в земной коре. Ее цель — выявление геологических образований с повышенными уровнями накопления ценных элементов. Для оценки специализации второго рода используются параметры, характеризующие геохимическую неоднородность, т. е. те характеристики, которые свидетельствуют о способности металлов вовлекаться в последующее перераспределение и концентрирование.

В том или ином виде попытки оценить геохимическую специализацию угольных бассейнов Сибири предпринимались неоднократно, но из-за недостаточного количества данных, либо из-за низкого качества аналитических работ в целом полученные результаты не удовлетворяют современным требованиям [16–19].

Уже из ранних работ следовала геохимическая специализация углей Минусинского бассейна на Ge и Sc [20–22], Кузнецкого бассейна — на Au, Ge, Zr, Ni [17, 18, 23, 24], Канско-Ачинского — на U [25], Иркутского — на Ga, Sn, B [17, 26], Тунгусского — на Be и элементы — халькофилы.

Результаты исследований

Использование методики оценки среднего как средневзвешенного [27] позволило нам получить надежные оценки среднего содержания элементов-примесей в углях Сибири. Полученные на базе современных аналитических методов новые данные о содержании элементов-примесей в углях позволяют не только дополнить и уточнить представления о геохимической специализации отдельных угольных бассейнов и добавить новые сведения о ранее не изучавшихся бассейнах и месторождениях, но и изменить общее представление о геохимической специализации углей региона.

Угли Сибири отчетливо обогащены по сравнению с глобальным угольным кларком [3] и данными по другим регионам мира литофильными элементами, характерными для пород щелочного ряда (Zr, Hf, Nb, Y, лантаноидами, Ba, Sr и Be) и отдельными элементами-сидерофилами (Sc, Fe, Cr, Ni, Co) (рис. 1). Они отличаются пониженными содержаниями элементов-халькофилов (Cu, Pb, Zn,

Cd, Ga, Se, Te, Hg) и отдельных литофилов (Li, Rb, B, V, Th). Такой тип геохимических ассоциаций элементов в углях хорошо согласуется с общей геохимической специализацией интрузивно-вулканогенных и осадочных образований региона.

Полученные нами оценки средних содержаний редких элементов как для отдельных бассейнов, так и для региона в целом, отличаются от более ранних оценок других авторов [17, 18]. Эти отличия заключаются не только в более обширном спектре изученных элементов, но и в более высоких их содержаниях (табл. 1). Последнее обстоятельство обусловлено применением современных количественных методов прямого определения элементов в пробах без предварительного озоления.

Геохимическая специализация первого рода позволяет очертить круг элементов, накапливающихся в угольных бассейнах и в целом в Сибири в количествах, определяющих геохимический фон элемента. Очевидно, что это будут не все элементы, определяющие геохимическую специализацию структур обрамления бассейнов, а только те из них, что способны избыточно накапливаться в углях, т. е. типоморфные или углефильные по терминологии Я.Э. Юдовича [1, 3]. Этот вывод можно проиллюстрировать, сравнив угли разных регионов мира (рис. 1). Как видно на диаграмме, по ряду элементов все они имеют близкую геохимическую специализацию.

Специализация второго рода, указывающая на наличие предпосылок к образованию промышленных концентраций элементов, может быть оценена по методике А.А. Смыслова [19]. Она устанавливается путем сравнения максимально аномальных содержаний элементов в углях с их кларками в земной коре. Результаты изображаются в виде круговой диаграммы, наложенной на круговую диаграмму геохимической специализации первого рода (рис. 2) и в виде формул геохимической специализации (рис. 3). Коэффициенты перед элементами в формуле характеризуют контрастность аномалий.

Этот тип геохимической специализации тесно связан со специализацией первого рода, в то же время отличается от нее, так как зависит не столько от общего геохимического фона структур обрамления, сколько от наличия источников, способных сформировать контрастные геохимические аномалии. Это могут быть разрушающиеся месторождения или специализированные комплексы горных пород в структурах обрамления, вулканогенный материал (пеплопады и др.), гидротермальная активность или поступление в пласт грунтовых или подземных вод, обогащенных рудными элементами. Обычно она формируется на фоне геохимической специализации 1 рода.

Исследования показали, что наиболее контрастные аномалии в углях Сибири образуют Se, As, Sr,

Таблица 1. Среднее содержание редких элементов в углях Сибири, г/т

Угольный бассейн, месторождение	Ad, %	Содержание элементов																											
		Li	Rb	Cs	Sr	Be	Sc	Y	Ga	Ge	Zr	Hf	Th	La	Ce	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	V	Nb	Ta	U	Ag	Au*	Sb		
Девонская эпоха угленакопления																													
Барзасское	32,5	19,1	36,0	2,8	61	2,3	6,4	35,5	7,1	2,7	144	2,9	3,9	35	68	5,4	1,7	0,7	1,5	0,31	47,5	21,3	0,7	3,2	0,018	9,5	0,3		
Убруское	49,2	12,9	22,0	1,6	395	2,5	8,7	33,4	2,7	<1,0	604	8,2	3,1	38	79	17,8	6,9	3,1	5,7	1,31	43,5	3,9	0,51	27,2	0,05	21	4,4		
Среднее	35,3	18,1	33,7	2,6	117	2,3	6,8	35,2	6,4	2,3	220	3,7	3,8	361	70	7,5	2,5	1,1	2,2	0,48	46,8	18,4	0,7	7,2	0,023	11,4	0,95		
Карбон-пермская эпоха угленакопления																													
Горловский	7,0	н.д.	6,3	0,39	195	н.д.	2,9	н.д.	н.д.	н.д.	1,1	1,9	8,2	21,0	1,8	0,39	0,19	0,77	0,18	н.д.	н.д.	0,08	1,0	н.д.	7,9	0,11			
Кузнецкий	13,5	14,8	15,0	1,6	248	4,6	3,9	15,4	7,0	0,9	138	2,1	3,3	12,3	24,7	2,6	0,64	0,43	1,30	0,34	14,7	11,0	0,47	2,4	0,05	7,5	0,26		
Минусинский	17,6	10,1	3,8	0,67	288	2,5	8,2	13,6	2,9	5,7	63	2,6	3,1	14,4	37,0	2,2	0,76	0,70	1,1	0,45	25,1	7,4	0,32	3,0	0,011	2,8	1,2		
Тунгусский	12,0	6,7	7,4	0,8	239	2,0	3,9	4,8	4,2	0,2	43	2,3	3,7	8,5	19,7	1,9	0,5	0,4	0,8	0,24	12,2	2,8	0,5	3,3	н.д.	4,1	0,8		
Курайское	25,2	20,0	16,7	1,0	686	2,0	6,9	18,5	4,7	0,2	79	2,7	4,2	38,2	44,1	4,8	1,5	0,75	2,0	0,51	7,5	4,9	0,49	1,1	0,011	2,6	0,01		
Среднее	12,4	8,7	9,3	1,0	241	2,7	4,0	7,6	4,9	0,5	67	2,2	3,7	9,5	21,2	2,1	0,5	0,4	1,0	0,27	13,0	4,9	0,5	3,0	0,05	3,1	0,68		
Мезозойская эпоха угленакопления																													
Пыжинское	6,5	4,5	15,3	1,3	36	0,8	2,9	4,9	1,0	н.д.	47	0,7	0,9	4,9	5,8	1,0	0,5	0,23	0,54	0,17	н.д.	6,0	0,08	0,95	н.д.	2,4	0,5		
Канско-Ачинский	9,8	2,8	1,4	0,10	375	1,2	2,9	5,9	2,3	0,3	29,3	0,59	0,97	3,4	8,1	0,82	0,32	0,22	0,45	0,11	8,3	2,7	0,03	3,2	0,02	6,1	0,31		
Иркутский	8,5	н.д.	н.д.	0,06	н.д.	2,0	5,7	7,3	0,6	н.д.	40	0,98	2,8	12,3	14,9	2,9	0,66	0,45	1,4	0,28	0,9	н.д.	0,22	1,9	н.д.	3,5	0,7		
Улугхемский	9,5	1,6	1,8	0,55	250	1,7	2,3	5,1	1,4	0,3	21	0,68	1,2	4,3	8,2	1,0	0,34	0,19	0,40	0,11	7,7	0,1	0,07	1,2	<0,01	2,5	0,27		
Западно-Сибирский	10,5	4,2	3,5	1,1	213	5,4	16,0	17,0	2,1	2,7	126	3,3	2,3	8,2	16,6	2,5	0,83	0,67	2,1	0,47	15,6	5,5	0,05	1,2	0,006	30,0	7,1		
Тунгусский	12,6	6,7	6,8	0,06	117	0,7	3,9	5,5	0,3	0,2	30	0,66	0,8	5,1	6,7	0,9	0,49	0,25	0,40	0,10	1,6	0,4	0,02	2,1	0,006	1,5	0,01		
Кузнецкий	17,3	н.д.	10	0,6	450	0,6	6,4	3,0	3,0	н.д.	30	0,41	2,2	7,0	13,3	2,2	0,64	0,73	0,88	0,28	6,0	7,0	<0,05	2,1	<0,01	2,4	0,49		
Среднее для АССО	10,1	2,6	1,7	0,14	357	1,2	3,2	5,8	2,2	0,25	30	0,61	1,1	4,0	8,7	1,0	0,35	0,26	0,52	0,13	7,8	2,6	0,04	3,0	0,020	5,5	0,34		
Среднее	10,5	4,2	3,4	1,0	217	5,2	15,6	16,7	2,1	2,6	123	3,3	2,3	8,1	16,4	2,5	0,81	0,66	2,0	0,46	15,4	5,5	0,05	1,2	0,006	29,0	6,9		
Кайнозойская эпоха угленакопления																													
Западно-Сибирский	30,7	16,1	2,6	0,99	159	1,9	13,3	11,4	2,6	0,6	42	2,0	3,5	18,5	24,2	4,3	1,51	0,54	2,1	0,76	21,0	5,3	0,13	4,6	0,021	10,6	0,43		
Талду-Дюргунское	19,8	3,4	14,5	1,6	411	0,5	9,1	5,0	0,4	0,5	38	0,80	1,1	7,3	6,6	2,0	0,71	0,36	1,3	0,73	8,4	1,5	0,03	1,7	0,11	6,8	1,1		
Среднее	30,7	16,1	2,6	0,99	159	1,9	13,3	11,4	2,6	0,6	42	2,0	3,5	18,5	24,2	4,3	1,5	0,54	2,1	0,76	21,0	5,3	0,13	4,6	0,021	10,6	0,43		
Кайнозойская эпоха торфонакопления																													
Торф погребенный	46,1	н.д.	44	4,4	138	н.д.	9,3	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	1,9	5,1	15,4	28,9	2,8	0,78	0,56	1,6	0,27	н.д.	н.д.	0,53	3,7	н.д.	н.д.	0,87		
Торф современный	8,7	н.д.	4,1	0,33	88	н.д.	1,0	н.д.	н.д.	н.д.	н.д.	0,29	0,8	4,1	7,3	0,74	0,14	0,13	0,20	0,04	н.д.	н.д.	0,07	2,0	н.д.	6,0	0,15		
Среднее для региона	11,5	5,1	3,9	1,0	214	4,8	14,2	15,5	2,3	2,3	113	3,1	2,4	8,6	17,0	2,5	0,81	0,62	1,9	0,45	15,3	5,3	0,09	1,5	0,011	25,4	5,9		

Примечание: * – в мг/т; н.д. – нет данных

Mo, Be, Co, Au, Sb, U, Ge, Nb, Y, Zr, HREE, Br, Hg и Cd (рис. 2). Многообразие обстановок угленакопления определили большое разнообразие геохимических и минерогенических характеристик угольных бассейнов и месторождений. Вместе с тем, наряду со специфическими особенностями отдельных бассейнов, просматриваются и общие черты геохимической специализации углей региона, особенно отчетливые для группы редких металлов. Для всех угольных бассейнов характерен смешанный литофильно-халькофильно-сидерофильный тип геохимической специализации с различным соотношением геохимических ассоциаций. Этот факт согласуется с данными геохимического районирования Алтае-Саянской складчатой области.

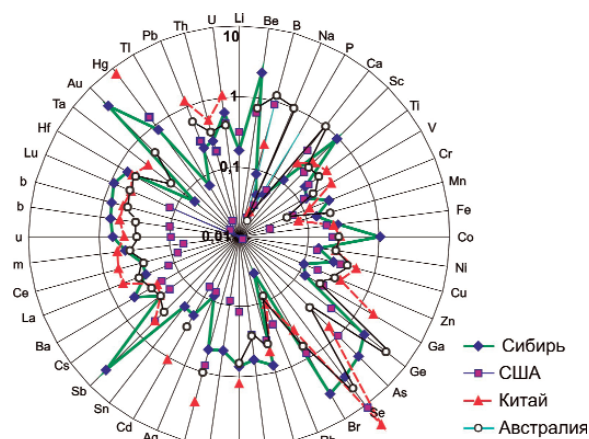


Рис. 1. Нормированные к среднему в Земной коре графики распределения элементов в углях Сибири

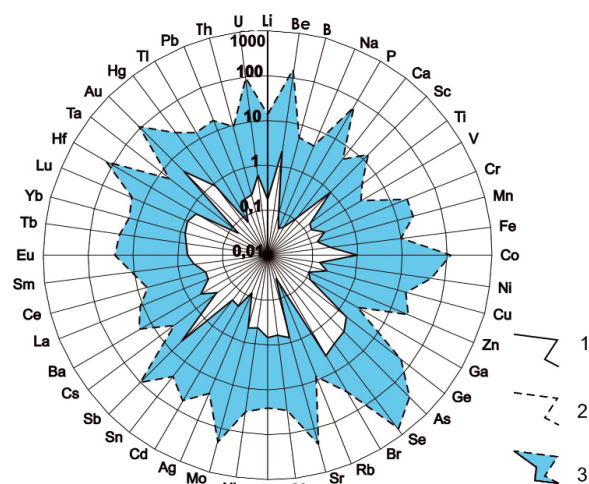


Рис. 2. Элементы-примеси в углях Сибири. Содержание элементов выражено через коэффициент концентрации, рассчитанный по отношению к среднему содержанию в верхней части Земной коры: 1) среднее; 2) наибольшее локально высокое; 3) поле локально высоких содержаний

Исследования показали, что угли Сибири специализированы на Be, Ge, Se, Au, Sc, U, Co, As, Sb, Mo, Nb, Y, Zr и лантаноиды. Высокая контрастность аномалий редких элементов позволяет прогнозировать высокую вероятность выявления ме-

сторождений и угольных пластов с промышленно значимыми их содержаниями. Этот вывод согласуется с наличием в углях региона промышленных концентраций Ge (Минусинский бассейн, Кузбасс, Западно-Сибирский бассейн), контрастных аномалий Au (Кузбасс, Западно-Сибирский бассейн), Sc (Минусинский, Западно-Сибирский бассейны), U (Канско-Ачинский, Иркутский, Западно-Сибирский бассейны), Be (Тунгусский бассейн), Nb, Zr, Y, лантаноидов (Кузбасс), Mo (Убруское месторождение).

Установлено изменение геохимической специализации углей региона в процессе эволюции угленакопления. Изменение геотектонического режима осадконакопления практически на всей территории Сибири носило синхронный и региональный характер. Поэтому здесь возможна достаточно надежная корреляция угленосных формаций палеозойского, мезозойского и кайнозойского уровней угленакопления. Это позволяет изучить эволюцию редкометального состава углей как в отдельных бассейнах, так и в Сибири в целом.

Особенностью палеозойской эпохи угленакопления в Сибири является значительное влияние на углеобразовательный процесс вулканической деятельности. Это выразилось в повсеместном обогащении углей D и C-P возраста литофильными, в том числе умеренно и слабоуглефильными элементами, такими как Zr, Hf, Y, REE, Nb, Ta, Th и U. На участках с мощными прослоями пирокластики уровни накопления этих элементов-примесей в углях могут достигать промышленно значимых величин [6, 11].

Мезозойская эпоха угленакопления в регионе существенно золотоносна, скандиеносна и германиеносна. Если германиеносность ограничена меловыми лигнитами Западно-Сибирского и Тунгусского бассейнов, то скандиеносность и золотоносность — почти повсеместное явление. Аномальные уровни накопления этих элементов характерны для золы углей Западно-Сибирского, Канско-Ачинского, Иркутского и Кузнецкого бассейнов. Особенно ярко золотоносность и скандиеносность проявлена в Западно-Сибирском бассейне [12, 13].

Кайнозойская эпоха угленакопления отчетливо унаследует геохимическую специализацию мезозоя. Но она имеет и свои особенности. Содержание большинства редких элементов-примесей в углях кайнозоя ниже, чем в мезозойских углях (табл. 1). Еще ниже их содержание в современных торфах.

Одной из наиболее характерных отличительных особенностей кайнозойской эпохи в регионе является ее высокая ураноносность. Угли Сибири этого возраста практически на всей территории обогащены ураном. Кайнозойское уранонакопление оказало влияние и на мезозойские угли. Контрастные аномалии U установлены в юрских углях Итатского, Березовского и Козульского месторождений, в палеогеновых углях Яйского и Усманского месторождений. Здесь же известно промышленное гидротенное Малиновское месторождение урана [28].

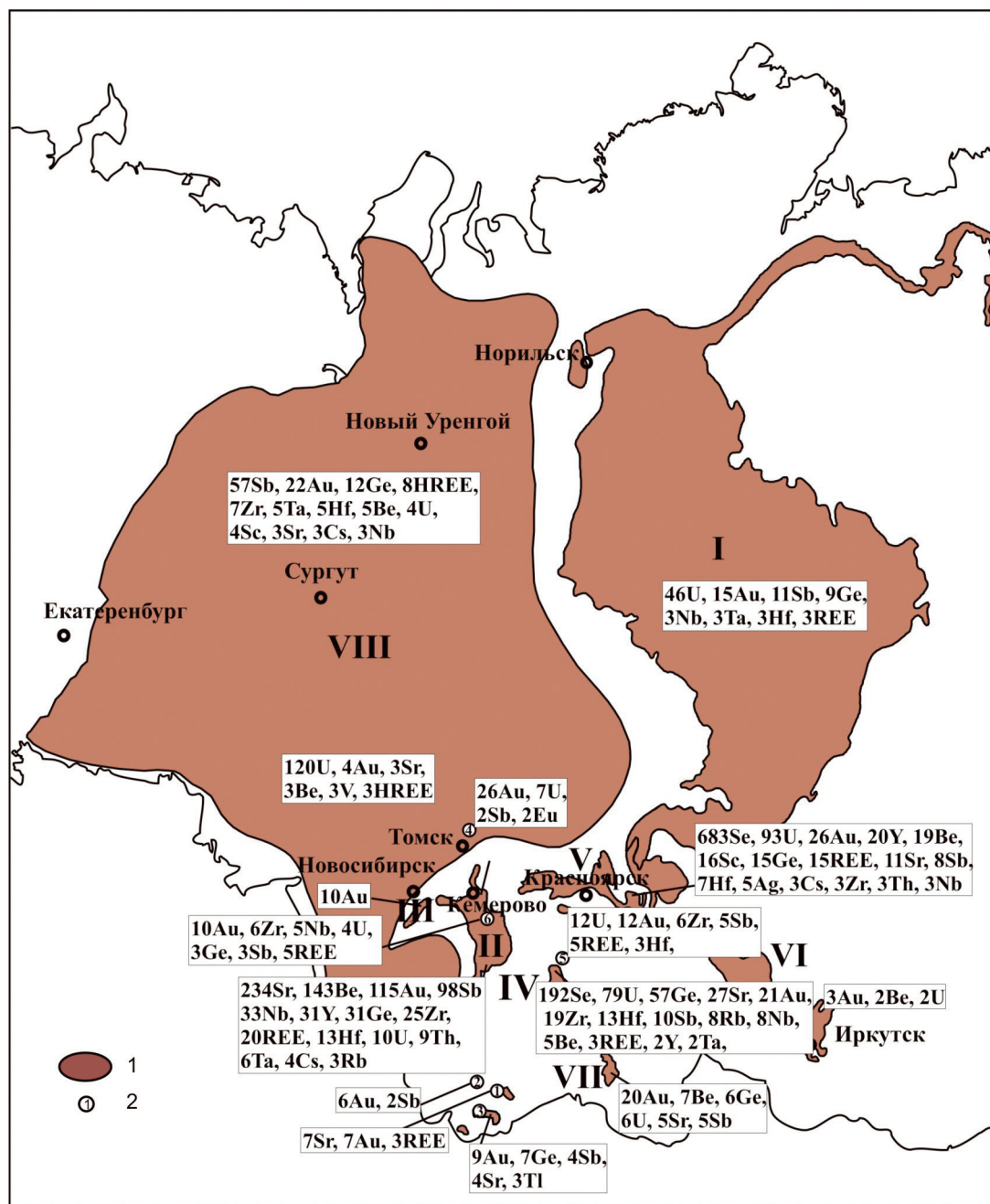


Рис. 3. Карта редкометалльной специализации углей Сибири. 1 – Угольные бассейны: I) Тунгусский, II) Кузнецкий, III) Горловский, IV) Минусинский, V) Канско-Ачинский, VI) Иркутский, VII) Улугхемский, VIII) Западно-Сибирский; 2 – угольные месторождения

Источником урана служат специализированные интрузивно-вулканогенные комплексы, распространенные в структурах обрамления угленосных впадин. По ряду признаков основная масса известных радиоактивных аномалий в юрских углях Сибири имеет молодой возраст. На это же указывает и связь урановых аномалий в углях Канско-Ачинского бассейна с участками четвертичного окисления угольных пластов [25] и наличие в регионе многочисленных ураноносных торфяников.

Таким образом, для Сибири характерна эволюция редкометалльного состава углей от палеозоя к

кайнозою. Палеозойские угли специализированы на литофильные редкие металлы, такие как Zr, Hf, Y, REE, Nb, Ta, Th, Ge и Sc, мезозойские – на Au, Sc и Ge, а кайнозойская – на Au, Ge и U.

Из группы редких элементов, характеризующихся высокими уровнями накопления в углях и золах углей, практический интерес в настоящее время как самостоятельные полезные ископаемые могут представлять Ge, Au, Sc, U, Nb, Ta, Y, Zr и лантаноиды.

Германий. Оценка германиеносности углей Сибири с разной степенью детальности выполнена для

подавляющего числа месторождений и бассейнов. Запасы металла промышленных категорий установлены в энергетических углях Черногорского месторождения Минусинского бассейна [21] и в двух месторождениях коксующихся углей Кузбасса [4]. Прогнозные ресурсы германия, подсчитанные для меловых лигнитов одного только Нижне-Касского участка восточной окраины Западно-Сибирского бассейна, составляют 11 тыс. т [29]. Высокогерманиеносные угли известны и в других районах Западно-Сибирского и Тунгусского бассейнов [21, 30].

Вовлечение германиеносных углей региона в промышленную переработку с целью извлечения металла ограничивается разными причинами. Получение германия из коксующихся углей Кузнецкого бассейна сдерживается отсутствием встроенной в основной технологический процесс коксования адаптированной для конкретных углей технологии его извлечения. Традиционная технология, используемая для извлечения металла из донецких углей, требует доработки в применении к углям Кузбасса [4].

Получение германия из энергетических углей Минусинского бассейна ограничено низким содержанием металла. Запасов Ge достаточно для создания оптимального по мощности производства, но невысокие его концентрации не позволяют создать рентабельное производство, ориентируясь только на Ge [11]. Положительным моментом здесь может считаться высокое содержание в углях и золах углей скандия. Совместное извлечение этих металлов может обеспечить необходимую рентабельность производства.

Освоение высокогерманиеносных лигнитов восточной окраины Западно-Сибирского бассейна ограничивается удаленностью объектов отработки, суровыми климатическими условиями, сезонным характером добычи, обогащения и транспортировки [29].

Скандий — один из наиболее перспективных элементов для извлечения из углей. На территории Сибири имеется несколько угольных месторождений, пригодных для организации промышленного получения Sc.

Наибольший интерес представляют угли хорошо освоенного Черногорского месторождения Минусинского бассейна [11]. Расчеты показывают, что в Черногорском месторождении ресурсный потенциал Sc достаточно велик. Имеющихся ресурсов достаточно для создания на базе месторождения крупного производства по попутной добыче Sc и других элементов-примесей. Один только пласт Двухаршинный способен обеспечивать современное мировое потребление этого металла в течение нескольких десятилетий (табл. 2).

Аномальный Sc характерен и для бурых углей отдельных месторождений Канско-Ачинского бассейна. Расчеты показали, что ресурсный потенциал Sc в Бородинском и Саяно-Партизанском месторождениях достаточен для создания на их базе крупного производства по попутной его добыче (табл. 3).

Таблица 2. Ресурсы ценных элементов-примесей в углях Черногорского месторождения, г/т

Месторождение, бассейн	Запасы (ресурсы) угля, тыс. т	Ресурсы, т						
		Sc	Ge	V	Zr	Y	Au	PЗЭ
Черногорское	1620263	13853	8895	62850	93327	16769	4,81	63725
В том числе пласт Двухаршинный	5000 (50000)	68,5 (685)	25,7 (257)	194 (1940)	288 (2880)	51,8 (518)	0,015 (0,15)	196 (1960)
В целом по бассейну	24862289	205860	93979	754073	1409692	304314	62,7	1266485

Аномально высокая скандиеносность установлена и для бурых углей юрского возраста Западно-Сибирского бассейна. Здесь содержание Sc в золе угля в ряде случаев превышает 0,2 % [12, 31]. Однако перспективы промышленного его извлечения из этих углей не просматриваются в связи со значительной глубиной залегания угольных пластов. Необходимо исследование районов, где угли этого возраста доступны для отработки.

Таблица 3. Ресурсы ценных элементов-примесей в углях отдельных месторождений Канско-Ачинского бассейна. Категория P₁

Месторождение, бассейн	Запасы угля, млн т	Ресурсы, т					
		Sc	Nb	V	Zr	Y	Au
Бородинское	1164	3840	3026	12801	57139	4888	8,3
В том числе пласты Рыбинский и Профильный	140	1008	—	—	7420	—	1,1
Большесырское	194	292	253	545	6347	117	1,2
Саяно-Партизанское, участок Ивановский 3–4	263,5	2160	—	—	12120	5796	4,2

Золото. Несмотря на то, что нами в последние годы выполнен довольно большой объем исследований в различных бассейнах, золотоносность углей Сибири оценена все еще недостаточно. Кроме известных фактов наличия золотоносных углей в Кузбассе [10, 24], в последние годы аномальное содержание Au установлено в углях Минусинского, Канско-Ачинского и Западно-Сибирского бассейнов [10–13].

Перспективы промышленного получения золота из углей региона специально не изучались. Небольшой объем исследований, выполненный А.М. Сазоновым с коллегами, показал, что из золошлаковых отходов от сжигания бурых углей основных промышленных месторождений Канско-Ачинского бассейна гравитационными методами оно почти не извлекается [32].

Решение вопроса об организации производства по извлечению золота из углей и отходов их переработки должно предваряться комплексом поисково-оценочных работ. Необходимо выполнить оценку ресурсной базы металла на перспективных участках и в золотовалах и провести лабораторно-технологические и промышленные испытания по извлечению металлов. Такие работы проведены для золоотвала Рефтинской ГРЭС в Челябинской области [9] и золоотвалам г. Хабаровска [14]. В Си-

бири на данном этапе их необходимо сосредоточить в Кузбассе, Минусинском бассейне и отдельных перспективных месторождениях Канско-Ачинского бассейна.

Тантал, ниобий, цирконий, гафний и редкоземельные элементы. Наиболее высокие концентрации этих металлов установлены в углях Кузнецкого бассейна [6, 10] Аномальные их содержания отмечены также в углях и золах углей Минусинского и Канско-Ачинского бассейнов [11, 12].

Ниобий. В Кузбассе его содержание в золе угля пласта XI достигает 2000 г/т при среднем значении 146 г/т [10], в Минусинском бассейне в пласте ХХХа – 220 г/т [11].

В каменных углях Кузнецкого бассейна аномальные концентрации Nb фиксируются не только в тонких контактовых зонах угольных пластов, но и в более значительных по мощности интервалах и даже в целых пластах мощностью до 9 м. Такие пласты установлены на разрезе Сибиргинском, где содержание ниобия в пласте IV–V составляет 35 г/т (360 г/т золы). Аномальные содержания Nb в углях Сибиргинского разреза коррелируют с повышенными содержаниями Zr и лантаноидов.

Повышенные концентрации Nb, приближающиеся к возможно промышленно значимым, отмечены в отдельных угольных пластах Канско-Ачинского бассейна. Однако невысокие уровни накопления металла не позволяют рассматривать их в качестве самостоятельного сырьевого источника ниобия. Здесь его перспективы могут быть связаны только с комплексом попутных элементов.

Тантал. В отличие от относительно распространенных ниобийсодержащих угольных пластов, танталоносные угли известны лишь в Кузбассе [10]. Детальные исследования, проведенные в пределах горных отводов шахты им. Ленина, разреза Ольжерасский [10] показали, что повышенные концентрации Ta в разрезе пласта XI приурочены к прослою (партингу), сложенному углистыми алевролитами и алевропесчаниками мощностью 0,1...0,13 м, подстилающему верхнюю пачку ниобийносных редкометалльных углей. Партинг прослеживается по латерали с запада на восток на расстояние до 5 км и более. Площадь его распространения по самым осторожным оценкам превышает 10 км². Среднее содержание Ta в алевролитах прослоя составляет 42 г/т, максимальное 71 г/т. В направлении с запада на восток концентрация элемента имеет тенденцию к увеличению. В соответствии с классификацией монометалльных месторождений Ta и Nb по качеству руд [33], породы партинга представляют собой рядовые (иногда богатые) руды. Ресурсы металла предварительно оцениваются нами в 100 т [10].

Высокие концентрации Ta (10...30 г/т) и повышенные содержания большой группы элементов, характерных для аномального прослоя в XI пласте,

установлены и в ряде других пластов. Это позволяет прогнозировать более широкое распространение редкометалльного оруденения подобного типа в стратиграфическом разрезе кемеровской и промежуточной свит на юге Кузбасса. Такие же содержания Ta отмечены и в Минусинском бассейне.

Уран. Ураноносны в Сибири окисленные бурые угли и лигниты. Проявления и мелкие месторождения урана известны в Канско-Ачинском, Иркутском и Западно-Сибирском бассейнах [19, 25]. Во всех изученных случаях урановое оруденение не сингенетично углеобразованию, а связано с наложенными процессами. Наиболее крупные проявления: Итатское, Яйское, Усманское и др., – обусловлены наложенными гипергенными процессами новейшей эпохи уранонакопления. Число таких аномалий весьма велико. Они зафиксированы на выходах угольных пластов под наносы на большинстве угольных месторождений Канско-Ачинского бассейна, на многих месторождениях Иркутского и Западно-Сибирского бассейнов. Мелкие уранопоявления известны и среди каменноугольных отложений Минусинского, Кузнецкого и Тунгусского бассейнов. Проводившаяся в 60–70 гг. XX в. оценка отдельных урановых проявлений в угольных пластах свидетельствует о неперспективности их для самостоятельной отработки в качестве уранового сырья. Перспективы переработки таких углей могут быть связаны только с необходимостью утилизации окисленных углей с целью уменьшения их воздействия на окружающую среду.

Выводы

Проведенные исследования показали, что угли Сибири геохимически специализированы на Be, Ge, Se, Au, Sc, U, Co, As, Sb, Mo, Nb, Y, Zr и лантаноиды. Такой тип специализации углей хорошо согласуется с общими геохимическими особенностями интрузивно-вулканогенных и осадочных образований региона. Высокая контрастность аномалий редких элементов-примесей позволяет прогнозировать высокую вероятность выявления месторождений и угольных пластов с промышленно значимыми содержаниями Ge, Se, Au, Sc, U, Be, Nb, Zr, Y и лантаноидов. Этот вывод согласуется с находками в регионе промышленных концентраций Ge аномальных содержаний Au, Sc, U, Be, Nb, Zr, Y, лантаноидов и Mo.

При современных технологиях на базе отдельных месторождений можно создать рентабельное производство по извлечению редких металлов. Наиболее перспективно извлечение из углей Ge, Sc, Au и комплекса литофильных редких металлов (Ta, Nb, Zr, Hf, Y, лантаноидов). Ресурсы скандия только в Черногорском и Бородинском месторождениях способны обеспечить его мировые потребности на несколько десятилетий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. — Л.: Наука, 1985. — 239 с.
2. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Неорганическое вещество углей. — Екатеринбург: УрО РАН, 2002. — 422 с.
3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 538 с.
4. Кац А.Я., Кременецкий А.А., Подкопаев О.И. Германий — минерально-сырьевая база Российской Федерации // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 1998. — № 3. — С. 5–9.
5. Середин В.В. О новом типе редкоземельного оруденения кайнозойских угленосных впадин // Доклады АН СССР. — 1991. — Т. 320. — № 6. — С. 1446–1450.
6. Середин В.В. Первые данные об аномальных концентрациях ниобия в углях России // Доклады РАН. — 1994. — Т. 335. — № 5. — С. 634–636.
7. Середин В.В. Основные типы металлоносных углей и перспективы их промышленного освоения // Благородные и редкие металлы: Труды Междунар. конф. «БРМ-2003» (Донецк, 22–26 сентября 2003 г.). — Донецк, 2003. — С. 109–111.
8. Середин В.В. Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России. Т. VI (Сводный, заключительный). Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. — М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2004. — С. 453–518.
9. Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко А.Е. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. — 1998. — № 5. — С. 67–68.
10. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. — Кемерово, 2000. — 248 с.
11. Редкометалльный потенциал углей Минусинского бассейна / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, Л.П. Рихванов и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН Филиал «ГЕО», 2003. — 300 с.
12. Арбузов С.И. Геохимия редких элементов в углях Центральной Сибири. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. — Томск, 2005. — 48 с.
13. Arbuzov S.I., Rikhvanov L.P., Maslov S.G., Arhipov V.S., Belyaeva A.M. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform // Int. J. Coal Geol. — 2006. — V. 68. — № 3–4. — P. 127–134.
14. Бакулин Ю.И., Черепанов А.А. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска // Руды и металлы. — 2003. — № 1. — С. 60–67.
15. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений. (Методические рекомендации) / Под ред. А.А. Смылова, В.А. Рудника, Н.М. Динкова, А.И. Понайотова. — Л.: Недра, 1979. — 247 с.
16. Ольховик Н.В. Зависимость характера металлоносности углей от общей металлогении угленосных провинций. // Полезные ископаемые в осадочных толщах. — М.: Наука, 1973. — С. 182–199.
17. Башаркевич И.Л., Костин Ю.П., Мейтов Е.С. Геохимические особенности ископаемых углей // Редкометалльные месторождения в осадочных и вулканогенно-осадочных формациях. — М.: ИМГРЭ, 1984. — С. 68–80.
18. Металлогения и геохимия угленосных и сланценовых толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения / В.Р. Клер, В.Ф. Ненахова, Ф.Я. Сапрыкин и др. — М.: Наука, 1988. — 256 с.
19. Смыслов А.А., Малышев Ю.Н., Голубев Б.Б., Горцевский А.А., Кирюков В.В. Карта угленосности, сланценоности и геохимической специализации углей и горючих сланцев России. Масштаб 1: 10 000 000. Объяснительная записка. — М.-СПб., 1996. — С. 27–47.
20. Горький Ю.И. К классификации углей по степени их германиеносности // Геология и геохимия полезных ископаемых Красноярского края. — Красноярск: Красн. книжн. изд-во, 1964. — С. 75–85.
21. Горький Ю.И. Основные закономерности распространения германия в ископаемых углях (на примере Минусинского бассейна). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Минск, 1972. — 184 с.
22. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. — М.: Недра, 1968. — 214 с.
23. Шахов Ф.Н., Эффенди М.Э. К геохимии углей Кузнецкого бассейна // Доклады АН СССР. — 1946. — Т. 51. — № 2. — С. 135–136.
24. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник / Под ред. В.Ф. Череповского, В.М. Рогового и В.Р. Клера. — М.: Недра, 1996. — 238 с.
25. Гаврилин К.В., Озерский А.Ю. Канско-Ачинский угольный бассейн. — М.: Недра, 1996. — 272 с.
26. Крюкова В.Н., Комарова Т.Н., Латышев В.П., Попова Н.А. Угли Иркутского бассейна: состав и свойства. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1988. — 256 с.
27. Ткачев Ю.А., Юдович Я.Э. Статистическая обработка геохимических данных. Методы и проблемы. — Л.: Наука, 1975. — 233 с.
28. Долгушин П.С., Баженов М.И., Рубинов И.М., Задорин Л.И. Малиновское месторождение урана // Отечественная геология. — 1995. — № 9. — С. 42–45.
29. Евдокимов А.П., Озерский А.Ю., Еханин А.Г. Германиеносные лигниты юго-восточной окраины Западно-Сибирской плиты // Разведка и охрана недр. — 2004. — № 6. — С. 26–29.
30. Еханин А.Г. Проблемы германиеносности углей и лигнитов южной части Тунгусского бассейна // Сырьевые ресурсы нижнего Приангарья в Красноярском крае. — Красноярск, 1997. — С. 49–51.
31. Середин В.В., Арбузов С.И., Алексеев В.П. Скандиеносные угли Яхлинского месторождения, Западная Сибирь // Доклады РАН. — 2006. — Т. 409. — № 5. — С. 677–682.
32. Сазонов А.М., Гринев О.М., Шведов Г.И., Сотников В.И. Нетрадиционная платиноидная минерализация Средней Сибири. — Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 1997. — 148 с.
33. Солодов Н.А., Семенов Е.И., Бурков В.В. Геологический справочник по тяжелым литофильным редким металлам / Под ред. Н.П. Лаверова. — М.: Недра, 1987. — 438 с.

Поступила 6.12.2006 г.