

## МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ УГЛЕЙ ПРИАМУРЬЯ\*

*В.В. Крапивенцева*

*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск*

На основе обобщения материалов спектрального анализа углей и, в меньшей мере, вмещающих их пород по семи буроугольным месторождениям Среднеамурского бассейна и сопредельных с ним территорий, а также по двум месторождениям и участкам Буреинского бассейна рассмотрены максимальные и средние содержания малых элементов, в том числе редкоземельных и благородных металлов.

Установлено, что промышленные концентрации в бурых углях Среднеамурского бассейна имеют многие элементы, и в первую очередь: Ni, Ti, Y, Ga, Nb, Zr. Реже промышленные концентрации имеют Sr, Li, Nb, а в золе углей Ушумунского месторождения – также Ag и Au.

Угли Буреинского бассейна характеризуются особым набором малых элементов с промышленно-значимыми концентрациями: Be, Sr, Yb, Ti, Ga, Nb, Zr. Некоторые элементы, особенно из группы редкоземельных, определялись лишь в единичных случаях, что не исключает возможность их присутствия в углях других месторождений.

Проведенное обобщение позволяет сделать вывод о промышленной металлоносности углей ряда месторождений (Ушумунского, Мухенского, Розенгартовского и др.).

Необходим дальнейший детальный анализ региональных геологических закономерностей, обуславливающих ту или иную металлогеническую специализацию отдельных месторождений.

**Ключевые слова:** малые элементы, угольные месторождения, редкоземельная специализация углей, промышленные содержания малых элементов, Приамурье.

### ВВЕДЕНИЕ

Вопросы металлоносности горючих ископаемых, и в первую очередь углей и горючих сланцев, уже давно привлекают внимание исследователей. Установлению редкоземельной и благороднометалльной минерализации углей способствовало внедрение в практику массовых спектральных анализов, хотя большей частью эти исследования носили спорадический характер [1, 17, 21, 22].

В послевоенное время, в связи с резко возросшими потребностями в уране, германии и ряде других элементов (иттрия, иттербия, лития и др.), исследования металлоносности углей и горючих сланцев приобрели широкий размах, особенно в США, Западной Европе, Японии, а в последние десятилетия – в России, Китае и других странах [20, 23]. В результате этих работ были обнаруже-

ны уран-угольные и германий-угольные месторождения промышленной значимости [2, 5, 6].

Кроме того, в 70–90-х годах XX столетия акцент исследований смещается и на изучение токсичных примесей в углях – серы, мышьяка, сурьмы, селена, ртути, кадмия, хрома, бериллия. В угольной технологии возобновились исследования по переработке углей на жидкое топливо, при которой редкие элементы-примеси можно сконцентрировать без специальных затрат, что удешевляет их извлечение.

В угледобыче и углехимии последних лет возрастает роль технологического использования углей с попутной добычей элементов-примесей, в первую очередь, благородных металлов, редкоземельных элементов как из самих углей, так и из золошлаковых отходов ТЭЦ, пород вскрыши и межугольных прослоев. Кроме того, возрастает роль разработок безотходных технологий по добыче и переработке углей,

\* Примечание редколлегии. Статья публикуется в дискуссионном порядке, поскольку в ней собраны данные спектральных анализов разных лет и разных лабораторий. Выводы по ним могут оказаться не вполне корректными. Тем не менее, на данном этапе исследований вполне можно говорить о повышенном содержании ряда ценных элементов в углях и их золе.

при которых утилизируются огромные массы зольных и шлаковых отходов, в том числе вокруг ТЭЦ и угольных карьеров [19, 20].

В последнее десятилетие на территории Приморья в угленосных впадинах и на их обрамлении, в частности на Павловском бурогольном месторождении, обнаружена золото-платиновая и редкоземельная минерализация углей, углистых и вмещающих пород, нередко с промышленным содержанием этих элементов [9–15].

Для углей Приамурья подобные исследования с применением современной аналитической базы, с учетом особенностей геологического строения угольных месторождений и определением в связи с этим условий концентраций редких элементов-примесей до сих пор не проводились.

#### ХАРАКТЕРИСТИКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования содержаний малых элементов в углях были рассмотрены все имеющиеся данные спектральных анализов углей, их зол и, частично, вмещающих угли песчано-глинистых пород по семи бурогольным и двум каменноугольным месторождениям и участкам Приамурья (рис. 1).

Это, в первую очередь, олигоцен-миоценовые бурогольные (группы 2Б) месторождения: Мухенское, Хурмулинское, Розенгартовское, Ушумунское, Лианское, расположенные в Среднеамурском бассейне или вблизи него, и Мареканское месторождение – в Приохотье [16].

В Буреинском бассейне изучались бурые угли Чекундинского месторождения (юго-западная часть бассейна) группы 3Б, каменные угли месторождения Ургал-Солони (на западе) марки Д чагдамынской ( $K_1^1$ ) свиты, газовые угли ургальской свиты ( $J_3-K_1$ ) Ургальского месторождения (в восточной части бассейна), в том числе участка Правобережный.

Общие краткие сведения об основных месторождениях, по которым произведено обобщение материалов по малым элементам в углях, золе углей и реже во вмещающих породах, приводятся в табл. 1.

Результаты исследований обобщены по максимальным и средним значениям содержаний малых элементов. Количество элементов, определенных спектральным анализом в углях разных месторождений и в разные годы крайне неравномерное (от 11 до 33). Также неравномерно опробованы и отдельные пласты: от одной скважины на Мухенском месторождении и до 30 пластоперечений по 15 скважинам на месторождении Ургал-Солони (табл. 1).

Анализ содержаний малых элементов в углях, золе углей и, в ряде случаев, во вмещающих угли породах показал следующее.

Промышленное содержание (табл. 2) по максимальным, а для некоторых элементов и по средним данным, в изученных углях имеют следующие элементы: Be, Sc, V, Co, Ni, Ge, Se, Sr, Mo, Cd, Ba, W и особенно (по частоте встречаемости и высоким содержаниям) Ti, Ga, Zr, а из редкоземельных – Y, Yb (почти повсеместно).

Реже промышленные концентрации имеют такие элементы, как Bi, La, Au, Ag, Nb, Rb. Однако эти и ряд других, особенно редкоземельных, элементов часто вообще не определялись в углях названных выше месторождений.

Кроме того, следует учитывать, что ряд малых элементов при определенных содержаниях (превышение порога “токсичности”) являются в той или иной мере “вредными” по уровню негативного воздействия соединений токсичных элементов на природные объекты. Такими элементами являются Be, V, Co, Cd, Mn, As, Ni, Hg, Pb, Se, Sb, Tl, Zn, F, Cr, Cl, однако не все из них достигают по своим концентрациям в изученных углях порога “токсичности” (табл. 3).

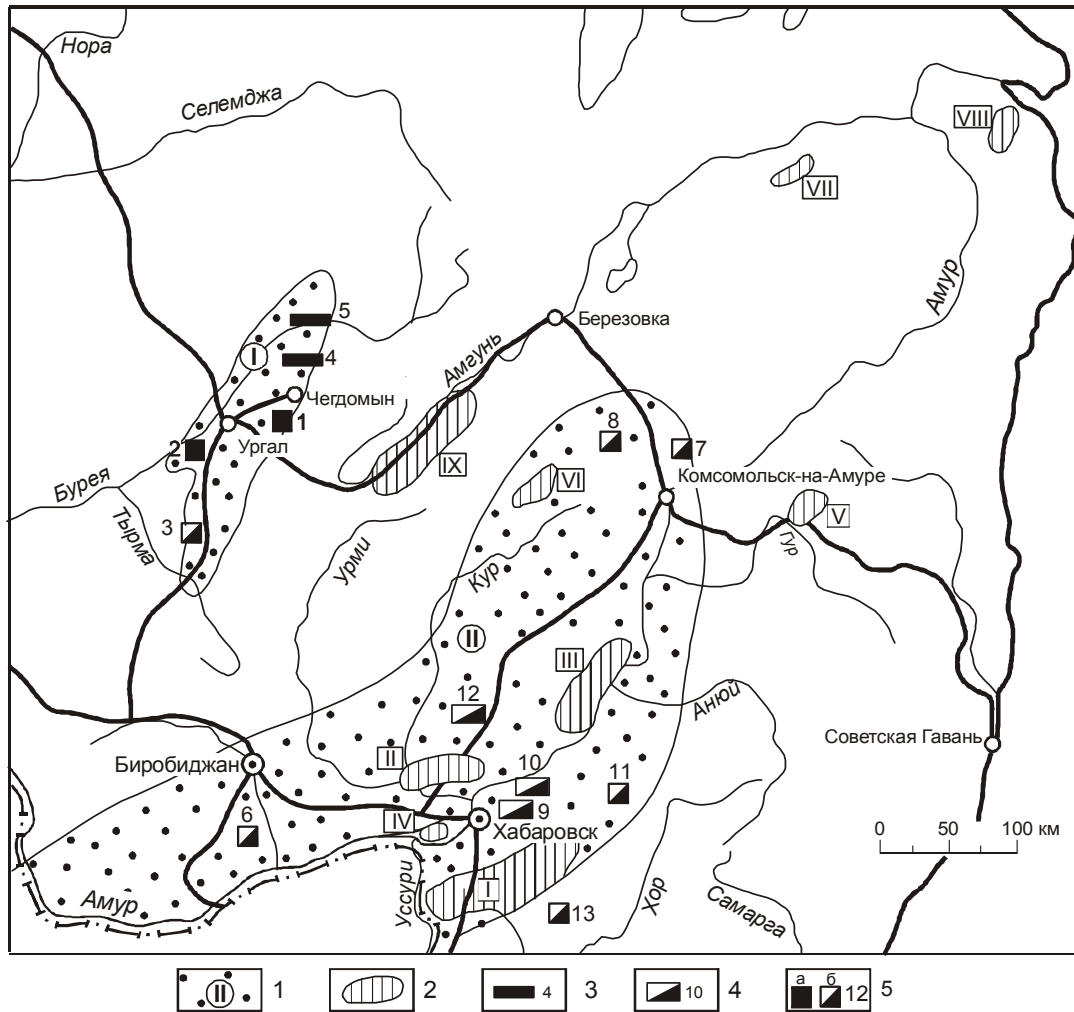
Далее переходим к краткой характеристике промышленно-значимых содержаний малых элементов в изученных углях (рис. 2–4).

**В е р л л и й.** Промышленные содержания этого элемента по максимальным значениям отмечены в углях Мухенского, Розенгартовского, Хурмулинского, Чекундинского бурогольных месторождений и в каменных углях месторождения Ургал-Солони. Максимальные содержания Be отмечены в золе ушумунских углей – от 20 и до 200 г/т, (рис. 5) что до 10 раз больше минимального содержания этого элемента, определяющего его промышленную значимость в золе углей (20 г/т).

**С к а н д и й** присутствует в основном в малых количествах, иногда этот элемент не определялся. В золе ушумунских углей его содержание не превышает минимально значимую промышленную концентрацию (МЗПК) и достигает 20 г/т, а во вмещающих глинах – 10 г/т.

Минимально промышленные концентрации скандия (10.5 г/т) отмечены в породах Чекундинского месторождения, а сами чекундинские, а также ургальские угли характеризуются непромышленными содержаниями этого элемента.

**В а н а д и й** присутствует в повышенных, но не промышленных содержаниях в золе ушумунских углей – до 200 г/т, а во вмещающих породах присутствует в малых количествах (рис. 5). Во



**Рис. 1.** Схема расположения основных угольных бассейнов, месторождений, угленосных площадей Приамурья, по [16] с дополнениями.

1 – угольные бассейны: I – Буреинский, II – Среднеамурский; 2 – угленосные площади (римские цифры в квадратах): I – Оборо-Уссурийская, II – Голубичная, III – Синдинская, IV – Самаринская, V – Хунгарийская, VI – Горинская, VII – Имская, VIII – Налевская, IX – Баджалская; 3, 4 – основные месторождения: 3 – каменноугольные, 4 – буроугольные; 5 – месторождения, по которым дана оценка содержания малых элементов: а – каменноугольные, б – буроугольные.

Список месторождений, указанных на схеме (в скобках – возраст угленосных отложений): 1 – Ургальское (поздняя юра–ранний мел), 2 – Ургал-Солони (ранний мел), 3 – Чекундинское (ранний мел), 4 – Оланжинское (поздняя юра–ранний мел), 5 – Усть-Умальтинское (поздняя юра–ранний мел), 6 – Ушумунское (палеоген–неоген), 7 – Лианское (палеоген–неоген), 8 – Хурмулинское (палеоген–неоген), 9 – Хабаровское (палеоген–неоген), 10 – Базовское (палеоген), 11 – Мухенское (палеоген), 12 – Литовское (палеоген), 13 – Розенгартновское (палеоген–неоген).

вмещающих угли песчано-глинистых породах Мареканского месторождения ванадий содержится также в повышенных содержаниях – до 200 г/т, хотя в самих мареканских углях этот элемент присутствует в малом количестве – 11,8 г/т (по средним данным).

Х р о м отмечен почти во всех углях изученных месторождений, но в непромышленных концентрациях. Однако в несколько повышенных со-

держаниях он присутствует в углях Мухенского (до 200 г/т), Розенгартновского (400 г/т), особенно Чекундинского (до 450 г/т) месторождений, являясь, в то же время, “токсичным” элементом для этих углей (при пороге “токсичности” – 100 г/т).

К о б а л ь т в промышленно-значимом содержании отмечен лишь в золе углей Ушумунского месторождения (до 100 г/т, в среднем – 77 г/т) (рис. 5). На месторождении Ургал-Солони его содержание в

Таблица 1. Общие краткие сведения о месторождениях, по углям и породам которых производилось определение содержаний малых элементов (по [16] , с дополнениями).

№ п/п	Месторождения, участки, площади	К-во скважин (проб)	Возраст углей	Площадь оценки ресурсов, км <sup>2</sup>	Глубина (м): <u>залегания пластов</u> опробования на малые элементы	Количество пластов: общ. / раб.	Максимальная мощность пластов, м	Марка Группа Под-группа	Запасы , млн т ([16], с дополнениями)	К-во элементов	Перечень элементов с промышленными концентрациями ( <u>Yb</u> – в том числе и по средним данным)	
											в углях	в золе углей
1.	Мухенское	1 (10)	P <sub>3</sub>	300	<u>3–386</u> 30–120	12 / 4	8.6	Группа 2Б	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> – 252 в т.ч. 16 для открытых работ	13	<u>Be, Sr, Y, Ti, Yb</u>	не определялись
2.	Розенгартовское	8 (18)	P <sub>3</sub> - N <sub>1</sub>	16	<u>2–123</u> (чаще 80) -	1–5 / 1–5	18.6	Группа 2Б	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> – 40	33	<u>Be, Ni, Y, Ti, Bi, Yb, Ga, Zr</u>	- “ -
3.	Хурмулинское в углях  в породах	10 пластов (529)	- “ -	80	<u>1.4–146</u> -	16 / 8	13.5	Группы 1Б, 2Б	C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> – 61	17	<u>Be, Y, Ti</u>	непромышленные содержания
		9 (10)			<u>0.2–15</u> (гл. опр.)					2	не определялись	U, Th
4.	Лианское	(327)	- ” -	55	<u>6.5–197</u> -	22 / 15	17.7	Группы 1Б, 2Б	A+B+C <sub>1</sub> – 267	6	Y, Ga	не определялись
5.	Ушумунское углеразрез	(371)	“ -	около 216	<u>2–360</u> 50–700	30 / 10	14.8	Группы 2Б, 3Б	P <sub>1</sub> +P <sub>2</sub> – 1000.	11	не определялись	<u>Be, Ge, Au, La, Se, Zr</u>
		(6)	- “ -	-	<u>1–3</u> -	1	7–12	Группа 2Б	4.1 для откр. раб.	30	- “ -	Co, Be, <u>Ag</u>
6.	Мареканское в углях  в породах	2 (45) -	N <sub>1</sub>	19	<u>2–91.7</u> -	10 / 1-6	28	Группы 1Б, 2Б	A+B+C <sub>1</sub> – 20.5	27	W, Cd  V, Co, Mo, Au	не определялись
7.	Чекундинское	9(209)	K <sub>1</sub>	264	<u>6.6–300.7</u> -	11 / 4	16.7	Группа - Марка 3Б - Д	P <sub>1</sub> – 778, в т.ч. - 77 для откр. раб.	28	<u>Sr, Y, Ti, Yb, Nb, Ga, Be, Sc, Y, Ti, Yb, Ga, Zr, Nb</u>	- “ -
8.	Ургал-Солони	15	J <sub>3</sub> -K <sub>1</sub>	30 (детально разведано 0.9)	- 31.7–141.6 (гл. опр.)	8 / 3	5.8	Марка Д	B+C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> – 89.2, в т.ч. - 0.77 для откр. раб.	16	Co, Ga	Be
9.	Ургальское	Шахта Ургал (19)	- “ -	350	<u>2–700</u> 10–150	50 / 22	15	Марки Д, Г	A+B+C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> – 1333	31	<u>Ti, Zr, Rb</u>	не определялись
10.	Участок Правобережный	(715)	- “ -	50	<u>8–441</u> -	22 / 5	9.6	Марка Г	B+C <sub>1</sub> +C <sub>2</sub> – 165.3	15	<u>Mo, Hg</u>	<u>Hg</u>

углях достигает МЗПК – 20 г/т. В остальных буровугольных месторождениях (Мухенском, Розенгартовском, Чекундинском, а также в ургальских углях) его содержания малы и ниже минимально промышленных значений. В ряде месторождений этот элемент не определялся ни в углях, ни в породах.

Н и к е л ь присутствует в бурых углях Среднеамурского бассейна (на Мухенском, Розенгартовском месторождениях) в МЗПК – до 100 г/т. Лишь во вмещающих алеврито-глинистых породах на Ушумунском разрезе (рис. 7) его содержание “ураганное” – до 8000 г/т, а по средним данным – 2000 г/т, что почти в 16 раз превышает МЗПК.

Г е р м а н и й встречен в бурых углях Приамурья и каменных углях Буреинского бассейна в непромышленных содержаниях (до 20 г/т). В ряде месторождений этот элемент не определялся. В золе углей Ушумунского месторождения германий со-

держится в промышленно-значимом количестве – до 200 г/т.

С е л е н был определен в промышленных концентрациях только в золе ушумунских углей (рис. 8) в количестве до 300 г/т (и 6 г/т в среднем). В углях остальных месторождений селен не определялся.

С т р о н ц и й установлен почти во всех углях изученных месторождений, кроме пород Мареканского месторождения и золы углей месторождения Ургал-Солони. Содержания стронция в золе ушумунских углей являются несколько повышенными. Практический интерес представляют только мухенские угли, где содержание Sr равно 400 г/т (по максимальным значениям) и 320 г/т (по средним данным).

Большой интерес представляют угли Буреинского бассейна, где содержания стронция в углях достигают 300 г/т, а промышленные концентрации (458 г/т) установлены в чекундинских углях, при среднем их значении – 228 г/т (рис. 9, 10).

М о л и б д е н определен в изученных углях большинства месторождений Приамурья, но его промышленные концентрации установлены только в углях участка Правобережный (7 г/т в среднем).

К а д м и й не определялся в углях большинства месторождений, за исключением Мареканского, где

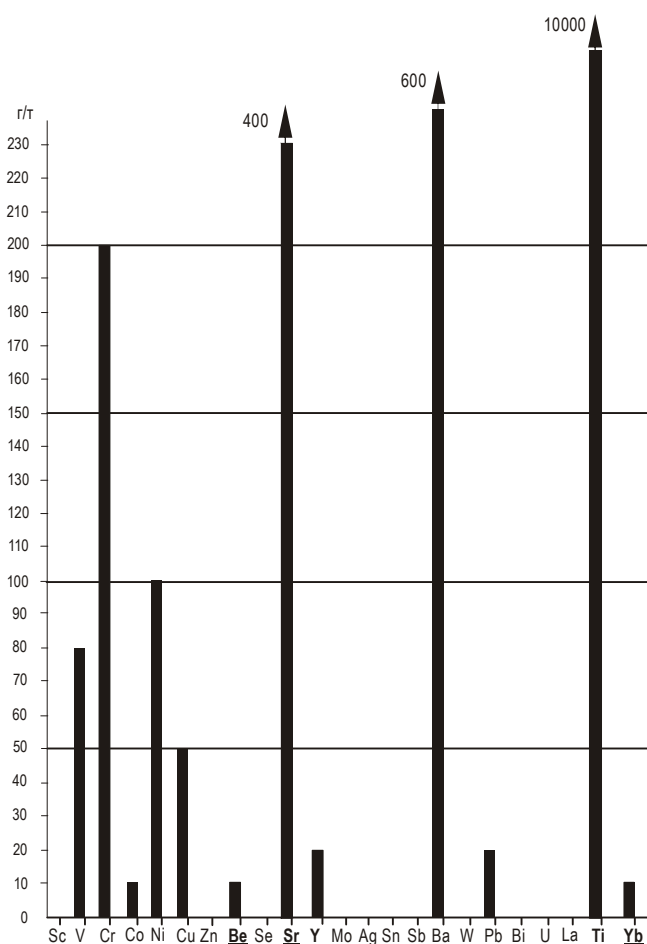


Рис. 2. Максимальное содержание малых элементов в углях Мухенского буровугольного месторождения.

Подчеркнутые здесь и далее элементы имеют промышленные содержания.

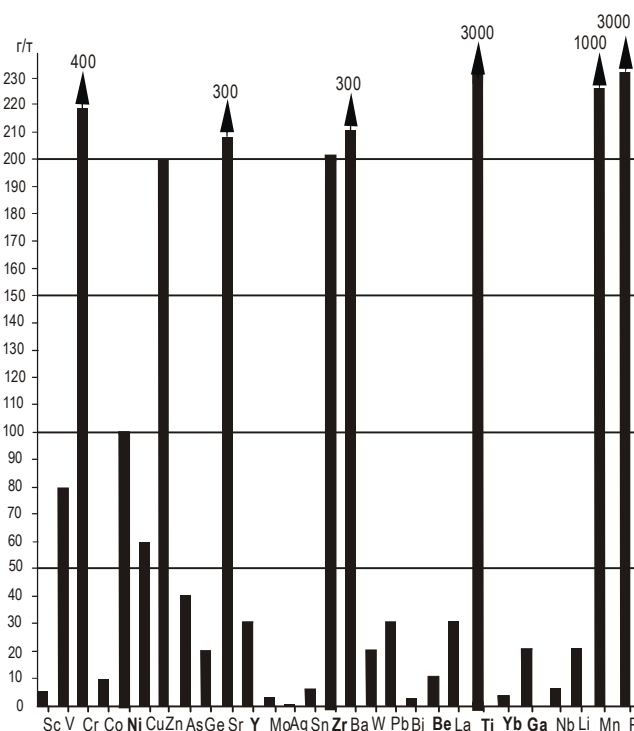
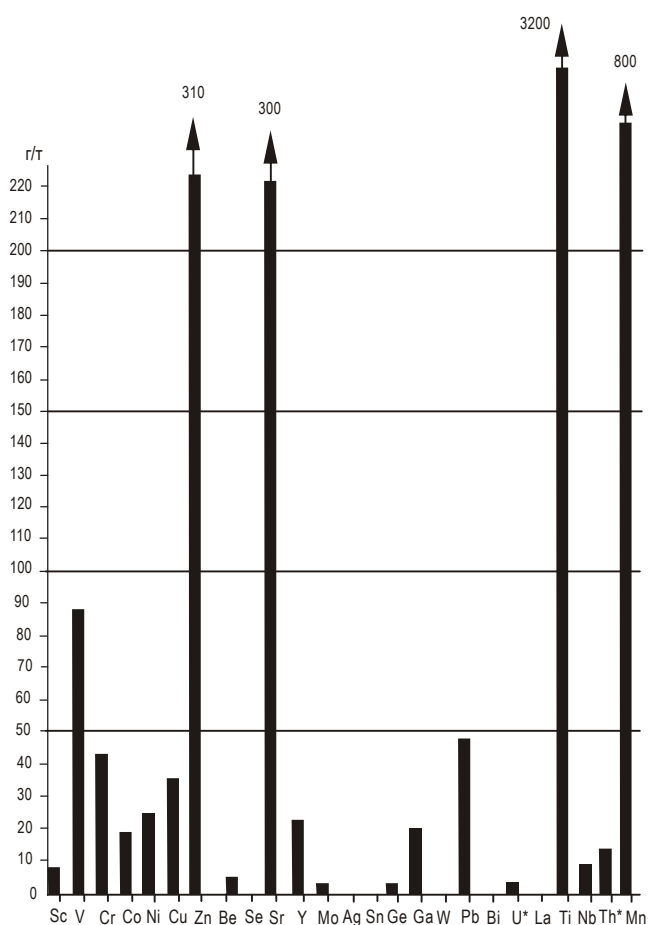


Рис. 3. Максимальное содержание малых элементов в углях Розенгартовского буровугольного месторождения.

**Таблица 2. Минимальные содержания малых элементов, определяющие возможную промышленную значимость товарных энергетических углей и продуктов обогащения как источников рудного сырья [17].**

Элементы	Содержание элементов, г/т		Элементы	Содержание элементов, г/т	
	в углях	в золах углей		в углях	в золах углей
Бериллий	5	20	Ниобий	10	50
Бор	2000	10000	Олово	20	100
Ванадий	100	500	Палладий	0.005	0.025
Висмут	1	5	Платина	0.005	0.025
Вольфрам	30	150	Рений	0.1	0.5
Галлий	20	100	Рубидий	35	175
Гафний	5	25	Ртуть	1	5
Германий	эн. 30 кокс. 3.5	150	Селен	1	5
Золото	0.02	0.1	Серебро	1	5
Индий	0.2	1	Свинец	240	1200
Иттрий	15	75	Скандий	10	50
Иттербий	1.5	7.5	Стронций	400	2000
Кадмий	1	5	Сурьма	30	150
Кобальт	20	100	Таллий	1	5
Лантан	150	750	Тантал	1	5
Литий	35	175	Теллур	1	5
Марганец	2000	10000	Титан	1500	7500
Медь	100	500	Хром	1400	7000
Молибден	6	30	Цезий	30	150
Никель	100	500	Цинк	400	2000
			Цирконий	120	600



**Таблица 3. Порог “токсичности” содержания малых элементов в товарных углях и продуктах их обогащения [17].**

Элементы	Содержание элементов, г/т
Бериллий	50
Ванадий	100
Кобальт	100
Кадмий	1.2
Марганец	1000
Мышьяк	300
Никель	100
Ртуть	1
Свинец	50
Селен	1000
Сурьма	6
Таллий	0.3
Цинк	200
Фтор	500
Хром	100
Хлор	6000

*Примечание.* Хлор в углях рассматривается как промышленно-вредный элемент.

**Рис. 4.** Максимальное содержание малых элементов в золе углей Хурмулинского буровугольного месторождения.

\* Примечание: уран (U) и торий (Th) определялись в глинах, перекрывающих верхние угольные пласты.

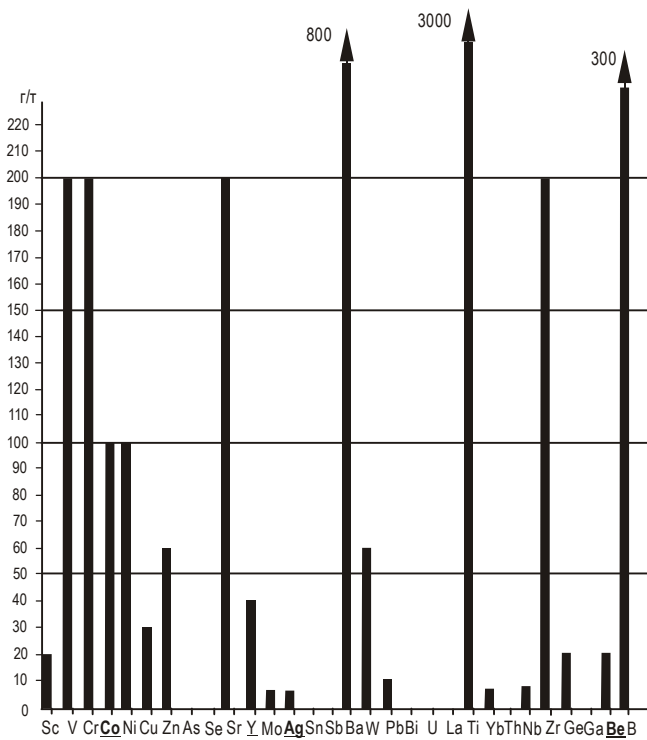


Рис. 5. Максимальное содержание малых элементов в золе углей 2-го пласта на Ушумунском разрезе.

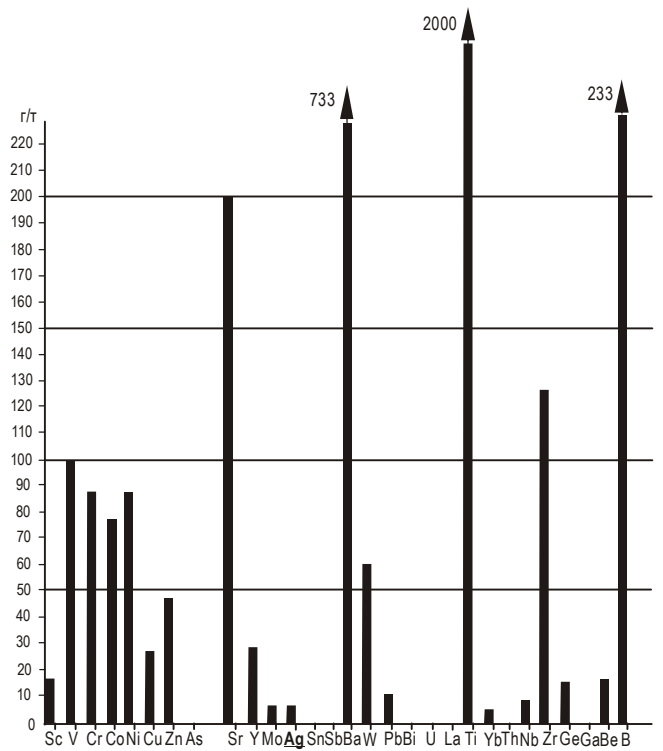


Рис. 6. Среднее содержание малых элементов в золе углей 2-го пласта на Ушумунском разрезе.

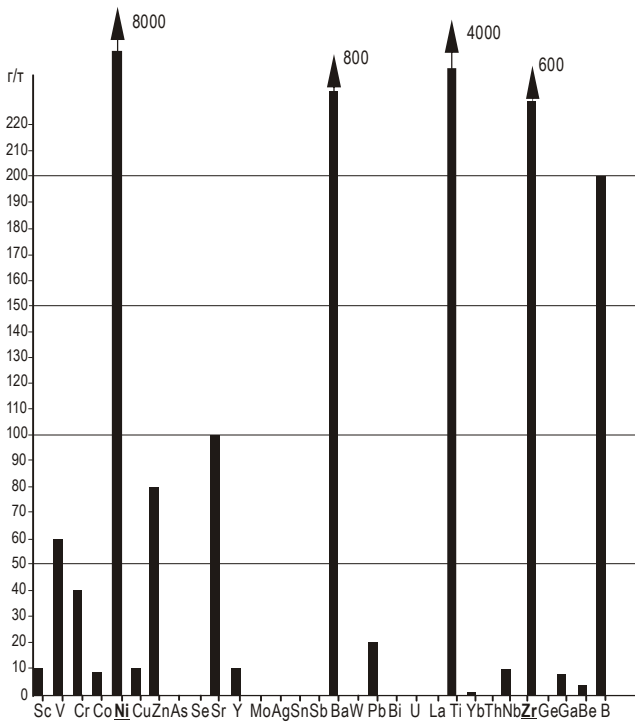


Рис. 7. Максимальное содержание малых элементов в алеврито-глинистых породах на Ушумунском разрезе.

его максимальное содержание составляет около 9 г/т. Это делает кадмий здесь промышленно-значимым элементом. В то же время, порог “токсичности” для кадмия составляет 1.2 г/т.

**Серебро.** Содержание серебра не определялось в углях большинства месторождений, а в остальных углях его концентрации весьма малы (до 1 г/т). Лишь в золе углей Ушумунского разреза (рис. 6) его содержание является промышленно-значимым и составляет 6 г/т.

**Золото.** Так же как и серебро, золото не определялось в большинстве углей Приамурья или его содержания были за пределами чувствительности полуквантитативного спектрального анализа. Лишь в золе углей Ушумунского месторождения его среднее содержание составляет 8 г/т (по 270 пробам), что делает этот металл промышленно-значимым для добычи его из золы ушумунских углей при комплексном использовании последних. Высокие содержания золота в золе ушумунских углей (до 300 г/т), так же как и ряда других элементов Ag, Be, Co, Ga, Se, Y и др. (рис. 5, 8), позволяют рекомендовать изучение их металлоносности с применением современной аналитической базы, для дальнейшего извлечения этих металлов из золы углей после их сжигания на ТЭЦ.

**Б а р и й.** Наличие бария определялось в углях не повсеместно. Однако в бурых углях изученных месторождений он присутствует в значительных количествах – до 300–600 г/т (по максимальным концентрациям) и от 59 до 295 г/т (по средним данным), наибольшие содержания – в золе углей и породах Ушумунского разреза (до 800 г/т). В углях и породах Буреинского бассейна его содержания невелики – от 276 до 534 г/т (по максимальным) и от 64 до 426 г/т (по средним значениям), максимальные количества содержатся в бурых углях и вмещающих породах Чекундинского месторождения (рис. 9, 10).

Данные о минимальных содержаниях этого элемента, определяющих его возможную промышленную значимость, отсутствуют.

**В о л ь ф р а м** в непромышленных содержаниях установлен в золе ушумунских углей (в разрезе – 60 г/т). Промышленная концентрация его отмечена в углях Мареканского месторождения – 44.4 г/т. В породах Чекундинского месторождения его концентрация достигает – 59 г/т.

В углях Розенгартовского месторождения вольфрам установлен в непромышленных содержаниях, а в ургальских углях его концентрация весьма мала (по средним данным).

**Т и т а н** имеет исключительно широкое распространение в бурых углях Приамурья и промышленно-

ленно-значимые (более 1500 г/т) содержания, в т.ч. и по средним данным, за исключением углей Мареканского месторождения.

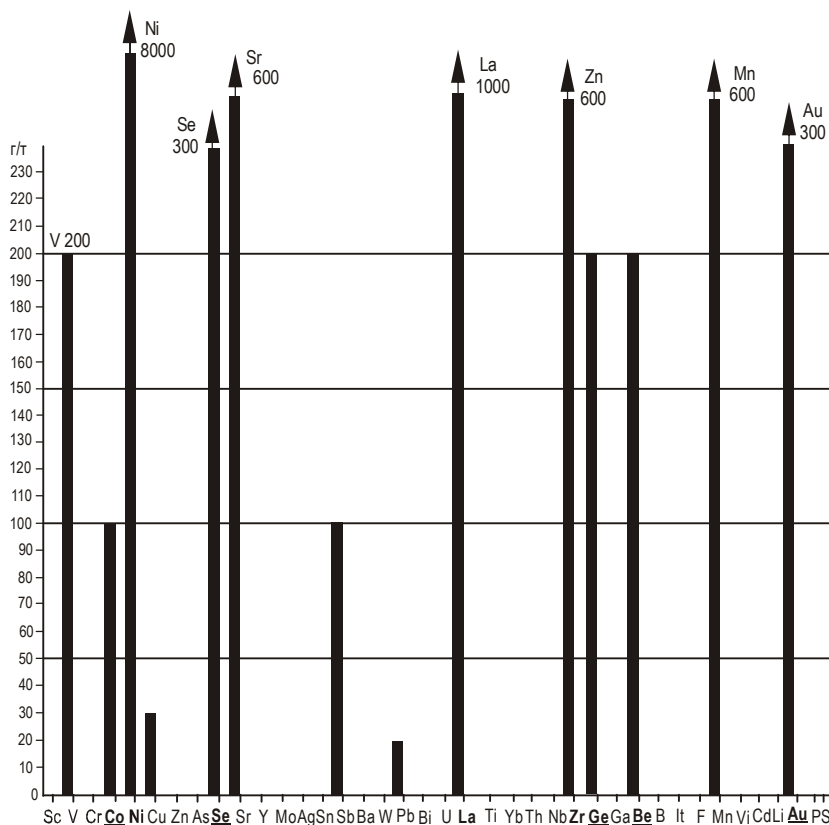
Наибольшими содержаниями титана выделяются бурые угли Мухенского, Розенгартовского, Хурмулинского, Чекундинского месторождений (рис. 2–4, 9, 10). Так, в мухенских углях концентрация титана достигает 10 000 г/т (максимально) и 6000 г/т (в среднем), а чекундинские угли содержат титана до 2910 г/т (по максимальным) и 1666 г/т (по средним значениям). Каменные угли Ургальского месторождения характеризуются высокими промышленными содержаниями титана – 1800 г/т.

**В и с м у т** определялся только в углях Розенгартовского месторождения. Его содержание по максимальным значениям достигает 2 г/т, превышая в два раза МЗПК, а по средним данным – 0.7 г/т.

**С в и н е ц** установлен почти повсеместно в непромышленных содержаниях, достигая порога “токсичности” (50 г/т) по максимальным его концентрациям только в породах и углях Чекундинского – 62–80.2 г/т и золе углей участка Правобережный – 80 г/т Ургальского месторождений.

Из редкоземельных элементов в углях определялись только иттрий, иттербий и лантан, а из радиоактивных – уран и торий.

**И т т р и й** установлен в углях почти всех изученных месторождений, кроме месторождения Ур-



**Рис. 8.** Максимальное содержание малых элементов в золе углей Ушумунского бурогоугольного месторождения.



гал-Солони. Промышленные концентрации ( $Y > 15$  г/т) характерны для углей большинства месторождений, как по максимальным, так и средним значениям. Максимальные и средние (в скобках) его содержания отмечаются в золе ушумунских углей – 40 (27) г/т, в углях и породах Чекудинского месторождения – 23–32.8 (13–16.2) г/т. В несколько меньших значениях иттрий содержится в углях Мухенского – 20 (13) г/т, Розенгартовского – 30 (17) г/т, Хурмулинского – 23 (19) г/т месторождений.

Иттрий относится к тем редкоземельным металлам, которые имеют в последние годы повышенный спрос благодаря его использованию в производстве сверхпроводящей высокотемпературной керамики и люминофоров для цветного телевидения.

И т т е р б и й. Промышленные ( $> 1.5$  г/т) содержания его установлены в углях Мухенского (10 г/т), Розенгартовского 3 (2) г/т, Чекудинского 10.4 (1.8) г/т месторождений. В углях остальных месторождений иттербий не определялся.

Однако высокие содержания иттербия и его широкое распространение в изученных углях дают основание рекомендовать попутное извлечение иттербия при комплексном использовании углей в уже осваиваемых промышленностью месторождениях: на Мухенском и Чекудинском (подготовленным к освоению).

Л а н т а н не определялся в большинстве изученных углей, однако его повышенные и промышленные (более 150 г/т в углях и 750 г/т в золе углей) концентрации обнаружены в золе углей Ушумунского месторождения (до 1000 г/т по максимальным значениям) (рис. 8). Небольшие его содержания (в среднем 4.4 г/т) установлены во вмещающих породах Мареканского месторождения.

У р а н и т о р и й определялись только по десяти скважинам на глубинах от 0.2 до 15 м в глинах Хурмулинского месторождения, перекрывающих угольные пласты. При этом содержания урана составляли – 3 г/т, а тория – от 11 до 13 г/т (в среднем 13 г/т), что соответствует фоновым содержаниям этих элементов.

Потенциально ценными элементами, имеющими в изученных углях повышенные (промышленные) или близкие к ним концентрации, являются галлий, литий, ниобий, цирконий и рубидий.

Г а л л и й. Кондиционные содержания галлия установлены (по максимальным или близким к ним средним данным) как в бурых углях Приамурья, так и в углях Буреинского бассейна.

Повышенные концентрации галлия отмечены в углях Розенгартовского, Хурмулинского (до 20 г/т),

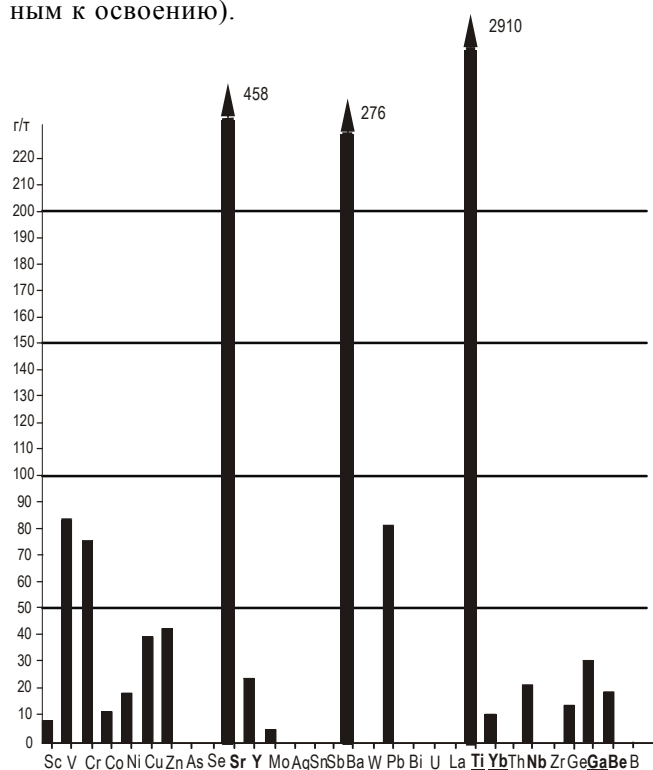


Рис. 9. Максимальное содержание малых элементов в углях Чекудинского бурогоугольного месторождения Буреинского бассейна.

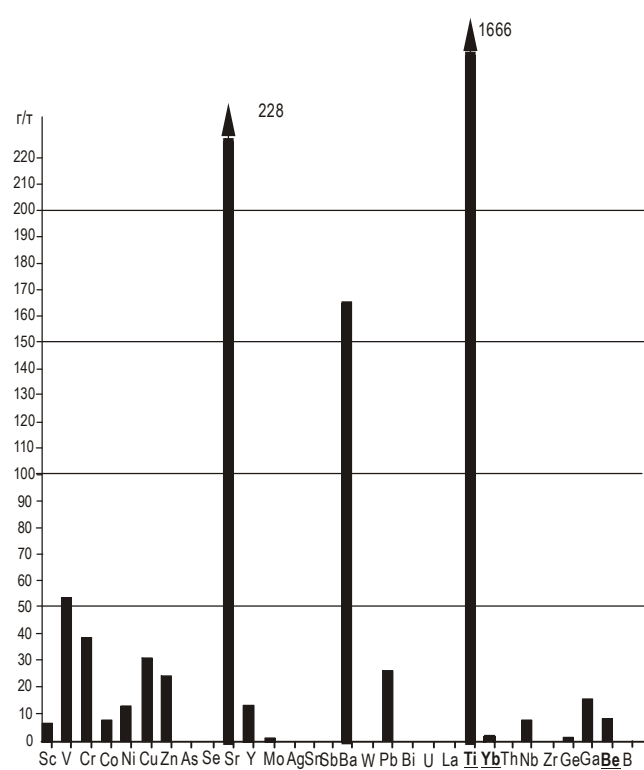


Рис. 10. Среднее содержание малых элементов в углях Чекудинского бурогоугольного месторождения Буреинского бассейна.

Лианского (до 25 г/т) месторождений, а в Буреинском бассейне – в углях Чекундинского (до 28.8 г/т максимально и 19.8 г/т по средним данным) месторождения.

В углях месторождения Ургал-Солони в западной части бассейна содержание галлия достигает 20 г/т (в среднем 12 г/т). В углях других месторождений галлий не определялся.

Следует отметить, что среднее содержание галлия в бокситах, которые являются сырьем для его получения (наряду с медными рудами и редкометалльными месторождениями), составляет 50 г/т.

В ургальских же углях содержание галлия достигает 29 г/т, а требуемые МЗПК этого элемента в углях составляют 20 г/т.

Значительное мировое потребление галлия (до 100 т в год) обусловлено его применением в производстве лазерных диодов для волоконно-оптической связи и сверхвысокочастотного радиолокационного оборудования, в оптико-электронных приборах и интегральных схемах [17].

Л и т и й. В большинстве углей Приамурья содержание лития не определялось. Однако в тех углях, в которых литий установлен (на Розенгартовском, Чекундинском, Ургальском месторождениях) и в породах Мареканского месторождения его концентрации повышены и достигают 20 г/т.

Н и о б и й определялся в углях шести месторождений Приамурья. В бурых углях его концентрация невысока и содержание не достигает кондиционных значений: 10 г/т в углях и 50 г/т – в их золе. Ниобий установлен в углях Хурмулинского, Розенгартовского месторождений (4–6 г/т) и в золе хурмулинских углей (до 9 г/т).

В углях Мареканского месторождения его концентрация не достигает одного процента (0.6 г/т по средним данным). В ушумунских и мухенских углях ниобий не определялся, а в золе углей на Ушумунском разрезе его концентрация составляет 8 г/т.

Более заметные и кондиционные содержания ниобия отличают угли Буреинского бассейна – на Чекундинском месторождении его максимальная концентрация составляет 20 г/т (среднее 6.5 г/т). В товарных углях шахты Ургал его среднее содержание составляет 7 г/т, что не исключает его высоких концентраций в других пластах Ургальского месторождения.

Ц и р к о н и й. Цирконий установлен в углях Розенгартовского и золе углей Ушумунского бурогольных месторождений, где его содержания достигают промышленных концентраций как по максимальным, так и по средним данным, составляя соот-

ветственно 200 (154) и 200–600 (17–127) г/т. В золе ушумунских углей и вмещающих породах 2-го пласта на Ушумунском разрезе концентрация циркония достигает 600 г/т, а по средним данным для пород – 300 г/т. В бурых углях остальных месторождений цирконий не определялся.

В Буреинском бассейне цирконий установлен (по средним данным) в породах Чекундинского (до 287 г/т) и Ургальского (119 г/т) месторождений.

Р у б и д и й не определялся в углях большинства месторождений Приамурья. Лишь в товарных углях шахты Ургал его содержание по средним данным составляет 34 г/т, приближаясь к промышленно значимым значениям (табл. 2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из анализа геохимических данных по распределению малых элементов в углях и золе углей Приамурья следует, что промышленные концентрации в них имеют многие элементы. В бурых углях это в первую очередь: Ni, Ti, Y, Yb, Ga, Zr. Реже промышленные концентрации или приближающиеся к ним имеют Sr (в мухенских углях) – до 400 г/т, Li – до 20 г/т в углях Розенгартовского месторождения и Nb – до 9 г/т в золе хурмулинских углей. Другие элементы присутствуют в непромышленных содержаниях.

Следует особо отметить высокие промышленные концентрации ряда малых элементов, кроме перечисленных, таких как Se, Co, Ge, Ag, Au в золе углей Ушумунского бурогольного месторождения. Так содержание Ge и Se в золе этих углей достигает, соответственно, 200 и 300 г/т, La – до 1000 г/т, Au – до 300 г/т (при среднем 8 г/т).

Угли Буреинского бассейна отличаются своим набором малых элементов, имеющих промышленные концентрации: Be, Sr, Yb, Ti, Ga, Nb, Zr. Для отдельных месторождений эти содержания несколько варьируют. Некоторые элементы (Li, Rb, U, Th, Cs) определялись редко, поэтому судить о промышленной значимости этих элементов преждевременно.

Промышленные концентрации бериллия характерны для углей Чекундинского (до 17 г/т) и золы углей месторождения Ургал-Солони (до 20 г/т). Стронций достигает промышленных концентраций в углях Чекундинского месторождения (до 458 г/т). Эти же месторождения характеризуются повышенными концентрациями иттрия (до 33 г/т) и иттербия (до 10.4 г/т).

Галлий и ниобий присутствуют в промышленных концентрациях в углях как в западной, так и в восточной частях Буреинского бассейна. В чекундинс-

ких углях концентрация галлия достигает 28.8 г/т, а в среднем равна 15.8 г/т. Максимальные концентрации ниобия в буреинских углях достигают 20 г/т в чекудинских углях и 15.4 г/т в породах Чекудинского месторождения.

Практически значимыми являются промышленные содержания таких малых элементов, для которых имеются технологии их извлечения из углей либо из золы углей: германий, литий, титан, ванадий, золото и серебро [3, 17, 20].

Результаты исследований геохимии малых элементов бурых и каменных углей Приамурья свидетельствуют и о более широком распространении в них наиболее ценных в настоящее время редких элементов (иттрия, иттербия, лантана, рубидия). К сожалению, анализ по определению содержания редкоземельных элементов проводился далеко не во всех месторождениях. Однако широкое распространение редкоземельных элементов в углях Приморья дает основание предполагать их наличие и в углях Приамурья, при сходных обстановках угленакопления [7, 11, 13].

В частности установлены “кондиционные” (более 1.5 %) содержания иттербия как по средним (1.8–5.0 г/т), так и по максимальным (до 10 г/т) значениям в углях Приамурья, лантана (до 1000 г/т) – в золе ушумунских углей, рубидия (34.1 г/т по средним данным) – в ургальских углях.

Распределение малых элементов в углях Приамурья и особенности их концентрации обусловлены целым рядом региональных закономерностей и, в первую очередь, геохимической и металлогенической специализацией комплексов пород, распространенных в обрамлении и фундаменте угольных месторождений, являющихся областями сноса в период угленакопления [3, 4, 7, 8].

Большую роль играют при этом и гидротермальные процессы, связанные с вспышками вулканической активности, как синхронными угленакоплению, так и с последующими [10–13].

Перспективными и промышленно значимыми являются технологии попутного получения концентратов малых элементов при обогащении углей, а также при использовании золошлаковых отходов ТЭЦ. Интересными и перспективными в этом плане являются работы, проведенные А.А. Черепановым в 1999–2001 гг. по изучению, накоплению и извлечению золота (от 0.2 до 24.5 г/т), платины и др. элементов из золошлаковых отходов ТЭЦ г. Хабаровска [18, 19].

При высоких температурах сжигания в топках ТЭЦ целый ряд малых элементов (Hg, Au, Ag, Cd, Ni, V, Mn, Zn и др.) выносятся с летучей золой и в газах.

Установлена возможность получать их концентраты на специальных дымогазовых фильтрах (по данным А.Н. Сутурина, 1986) [3].

Проведенное обобщение данных о распределении малых элементов в углях Приамурья (по 10 месторождениям и участкам) и полученные результаты позволяют ставить вопрос о продолжении этих исследований на новом качественном уровне с применением единой методики и современного лабораторного оборудования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 04-05-97016).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Волков В.Н., Полеховский Ю.С., Сергеев А.С., Тарасова И.П. Введение в металлогению горючих ископаемых и углесодержащих пород: Учеб. пособие. СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 1997. 248 с.
2. Иванов В.В., Кац А.Я., Костин Ю.П., Мейтов Е.С., Соловьев Е.Б. Промышленные типы природных концентраций германия. М.: Недра, 1984. 346 с.
3. Китаев И.В. Золообразующие и малые элементы углей Дальнего Востока. Владивосток: ДВО РАН АН СССР, 1989. 140 с.
4. Кравченко Н.С. Вещественные неоднородности геологических объектов. Владивосток: Дальнаука, 1998. 184 с.
5. Левицкий В.В., Седых А.К., Ульмясбаев Ш.Г. Германий-угольные месторождения Приморья // Отеч. геология. 1994. № 7. С. 63–66.
6. Ломашев И.П., Лосев Б.И. Германий в ископаемых углях / Ком. Сов. Мин. СССР по топлив. пром-сти, Ин-т геологии и разработки горючих ископаемых. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 258 с.
7. Седых А.К. Основные этапы формирования угленосных формаций в депрессионных просядках зон разломов // Отеч. геология. 1993. № 11. С. 10–14.
8. Седых А.К. Трансформация приразломных угленосных впадин во времени // Геология угольных месторождений. Вып. 7. Екатеринбург: УГГТА, 1997. С. 152–161.
9. Седых А.К. Основные критерии поиска германий-угольных месторождений в приразломных впадинах зон активизации // Геология угольных месторождений. Вып. 9. Екатеринбург: УГГТА, 1999. С. 302–311.
10. Седых А.К. Металлоносные угли Приморья // Проблемы освоения георесурсов российского Дальнего Востока и стран АТР: Материалы первой междунар. науч.-практ. конф. 30 мая – 2 июня 2001 г. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2002. С. 82–85.
11. Середин В.В. Редкоземельная минерализация в позднекайнозойских эксплозивных структурах (Ханкайский массив, Приморье) // Геология руд. месторождений. 1998. Т. 40, № 5. С. 403–418.
12. Середин В.В., Магазина Л.О. Минералогия и геохимия ископаемой древесины Павловского бурогоугольного месторождения (Приморье) // Литология и полез. ископаемые. 1999. № 2. С. 158–173.
13. Середин В.В. Золото и платиноиды в германий-угольных месторождениях Приморья: формы нахождения, условия

- накопления, перспективы освоения // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: Материалы Всерос. симпоз. М.: СВЯЗЬ-ПРИНТ, 2002. С. 374–379.
14. Середин В.В. Гидротермальная минерализация кайнозойских рифтогенных структур Приморья // Геодинамика, магматизм и минерагения Севера Пацифики. Магадан, 2003. Т. 3. С. 159–162.
  15. Середин В.В. Au-PGE – минерализация на территории Павловского бурогольного месторождения // Геология руд. месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 43–73.
  16. Угольная база России. Т. V. Кн. 1: Угольные бассейны и месторождения Дальнего Востока. М.: ЗАО “Геоинформ-марк”, 1997. 371 с.
  17. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справ. М.: Недра, 1996. 238 с.
  18. Черепанов А.А. Золошлаковые материалы // Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Раздел 2.4.5. Хабаровск: Изд-во ДВИМСа, 1999. С. 128–129.
  19. Черепанов А.А. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска // Руды и металлы. 2002. № 3. С. 1-9.
  20. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986.
  21. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Л.: Наука, 1978. 262 с.
  22. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985. 230 с.
  23. Юдович Я.Э. Грамм дороже тонны. Редкие элементы в углях. М.: Наука, 1989. 160 с.

Поступила в редакцию 23 августа 2004 г.

Рекомендована к печати Г.Л. Кирилловой

*V.V. Krapiventseva*

### **Metal content of coals in Priamurye**

Based on the data summarized on the spectral analysis of coals and to a lesser degree, on their enclosing rocks of seven brown coal deposits of the Middle Amur basin and the contiguous deposits, and also on two deposits and areas the Bureinskiy basin, the maximal and average content of minor elements, including rare earths and precious metals are considered.

It was established that commercial concentrations in the brown coals of the Middle Amur basin have many elements primarily Ni, Ti, Y, Ga, and Zr.

Sr, Li and Nb display rare commercial concentrations; similarly Ag and Au in the ash of the coals of the Ushumunskiy deposit.

The coals of the Bureinskiy basin are characterized by an array of minor elements with commercially essential Be, Sr, Yb, Ti, Ga, Nb, and Zr concentrations. Some elements, particularly those of the rare earths, were determined only in single instances; hence it is not impossible that they are present in coals from other deposits. The summarized data allow a conclusion of the commercial metal content of coals at some deposits (Ushumunskiy, Mukhenskiy, Rozengartovskiy, etc.).

Further detailed analysis is required of the regional geological regularities that condition one or another metallogenic specialization of some deposits.