

Ценные металлы в углях Арктической зоны России

В.И. Вялов^{1,2,3}, А.Х. Богомолов¹, А.В. Наставкин², Е.В. Кузеванова¹, Е.П. Шишов^{3*}, А.А. Чернышев³

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия

³Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ), Санкт-Петербург, Россия

В статье приведены результаты исследований металлоносности и оценки прогнозных ресурсов редких и других ценных металлов в угольных месторождениях Арктической зоны России. В углях ряда месторождений Арктической зоны (в Печорском, Ленском, Тунгусском, Таймырском, Зырянском угольных бассейнах, в угольных месторождениях Чукотки, Камчатки, Земли Франца-Иосифа) установлены аномальные концентрации целого ряда ценных элементов-примесей (Sc, Ti, V, Ga, Ge, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, TR и др.). Приведены содержания металлов в углях Ленского и Зырянского бассейнов, месторождений Камчатки, проявлений архипелага Земля Франца-Иосифа. Приведены результаты электронно-микроскопических исследований минеральных включений (с локальным микроанализом для их диагностики) углей Арктической зоны. Приведены результаты подсчета прогнозных ресурсов TiO₂, V₂O₅, Th, Y₂O₃, PЗЭ₂O₃, Sc, Mo, Ga и др. металлов в изученных месторождениях. Показано, что угольные месторождения Арктической части России должны рассматриваться как нетрадиционный и перспективный сырьевой источник ценных металлов. Необходимо проведение широких исследований металлоносности угольных бассейнов и месторождений Арктической зоны России и оценки геологических ресурсов содержащихся в них ценных металлов.

Ключевые слова: уголь, угольные месторождения, Арктическая зона России, редкие металлы, элементы-примеси, качество углей, прогнозные ресурсы, металлоносность углей, минерально-сырьевая база

Для цитирования: Вялов В.И., Богомолов А.Х., Наставкин А.В., Кузеванова Е.В., Шишов Е.П., Чернышев А.А. (2019). Ценные металлы в углях Арктической зоны России. *Георесурсы*, 21(2), с. 53-62. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.53-62>

Арктическая зона, кроме огромных геологических ресурсов углеводородного сырья, исключительно богата разнообразными по качеству и возрасту углями и горючими сланцами (Минерально-сырьевые ресурсы Арктики, 2007). Угольные бассейны и месторождения пространственно и по возрасту вмещающих осадочных пород совмещаются с нефтегазоносными бассейнами (НГБ), нефтегазоносными районами (НГР) и углеводородными (УВ) объектами (рис. 1).

Для Арктического региона Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (ЗС НГП) парагенетические взаимоотношения УВ и углей показаны на рис. 2 (Петрологический атлас..., 2006). Мезозойские отложения с месторождениями УВ вмещают в себя многочисленные угольные пласты, их суммарная мощность в юрских и меловых осадках показана в виде изолиний (которые в ряде случаев окаймляют зоны УВ), а стратиграфически ниже залегают локально развитые погребенные угленосные отложения палеозоя. Поэтому некоторые исследователи (Звонарев, 1982; Голицын и др., 1992; Юзвickий и др., 2000) выделяют огромный «Западно-Сибирский угольный бассейн» географически совпадающий с Западно-Сибирской низменностью и целиком соответствующий ЗС НГП.

Добыча ресурсов УВ Арктической зоны России и создание необходимой инфраструктуры будут экономически более выгодны, если начнется, в рамках новой

единой стратегии развития ТЭК России, параллельная разработка угольных объектов, расположенных вблизи Северного морского пути, в т.ч. возле крупных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан (Енисей, Лена, Колыма). Независимая от освоения УВ разработка удаленных угольных объектов Арктики начинается. Горно-металлургическая компания «Норникель» приобрела Сырадасайское месторождение (коксующиеся и энергетические угли с ресурсами по кат. Р₂ более 5 млрд т) Таймырского угольного бассейна и ведет строительство угольного терминала в 50 км от Диксона для продажи порядка 10 млн. т углей в Европу и в Азию. Часть энергетического угля будет поставляться на ТЭЦ «Норникеля». Также начато активное освоение коксующихся углей Беринговского угольного бассейна.

С 2008 по 2015 годы на площадях Амаамского и Алякватваамского угленосных районов компаниями «Северо-Тихоокеанская угольная компания» и «Берингпромуголь», входящими в австралийскую компанию «Tigers Realm Coal Limited», было открыто четыре новых месторождения коксующихся углей, из них три в Амаамском районе и одно – в Алякватваамском.

Хотя основной интерес для освоения представляют собой месторождения и бассейны коксующихся углей, большим спросом на угольных рынках могут пользоваться высококалорийные антрациты и технологически ценные угольные графиты¹.

¹Не исключается интерес инвесторов и недропользователей и к бурым углям, особенно с повышенными содержаниями в них ценных металлов.

* Ответственный автор: Евгений Павлович Шишов
E-mail: e-shishov@mail.ru

© 2019 Коллектив авторов

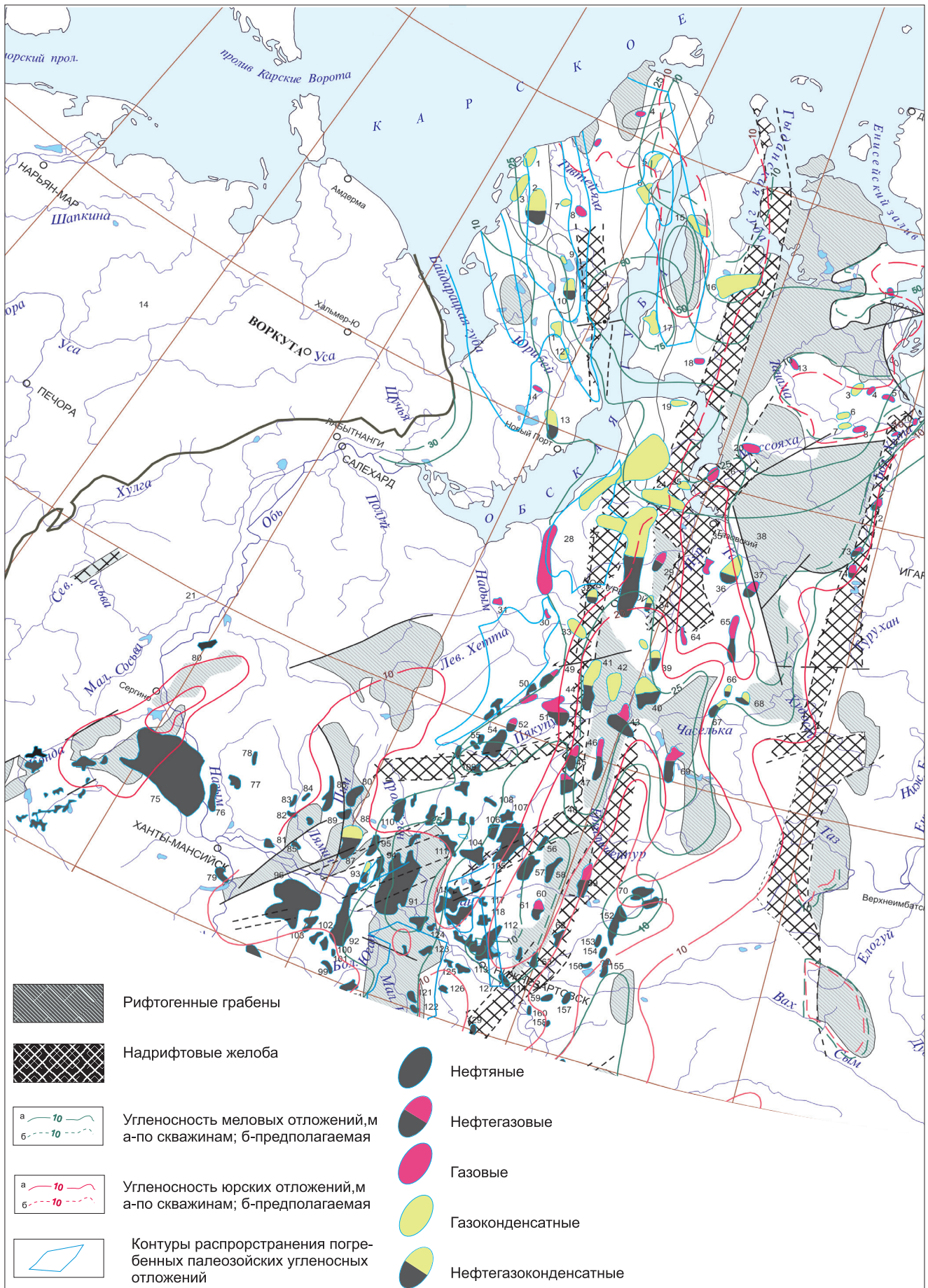


Рис. 2. Взаимосвязь УВ и угольных объектов (в контурах суммарных мощностей угольных пластов мелового, юрского возраста + глубоко погребенных палеозойских угленосных толщ) на севере Западно-Сибирской НПП

Известно, что твердые горючие ископаемые являются «вместилищем» большого количества химических элементов (элементов-примесей), многие из которых являются ценными. Их следует рассмотреть и в углях Арктической зоны, где они могут содержаться в рудных концентрациях. Наличие ценных металлов повышает инвестиционную привлекательность угольных объектов для освоения и цену угля при поставках на экспорт.

Сведения по содержанию элементов-примесей в углях Арктической зоны. Для некоторых угольных бассейнов (например, Печорский) данных по микроэлементам в углях много (преимущественно по данным полуколичественного спектрального анализа), но для большинства удаленных угольных объектов их мало, или они вовсе отсутствуют. На Карте угленосности, качества и ресурсов углей России (Петрологический атлас, 2006; рис. 3) данные по микроэлементам приведены лишь по углям Печорского бассейна (Li – 50, Ti – 1900, Nb – 10-14, Bi – 1,3 г/т) и Анадырской угленосной площади (Ti – 2800, Nb – 10 и Bi – 1,5 г/т). В Печорском бассейне выделяются угли с высокими содержаниями Mo, As, Be, U, Zr, Zn, Th, La, P, Ga; в них отмечены Ge, Ag, иногда Au (Минерально-сырьевые ресурсы Арктики, 2007). В мегантрацитах и угольных графитах Таймырского угольного бассейна концентрации ряда микроэлементов значительно превышают содержания их как в углях мира, так и в антрацитах Донбасса. Для V, Nb, Sc уровни концентраций соответствуют их содержаниям в некоторых типах руд (Вялов, Коломенская, 1996). Пермские угли Тунгусского бассейна также могут быть обогащены этими металлами.

Угли Ленского бассейна Жиганского месторождения изучались на содержание редких и редкоземельных элементов. В геологическом строении Жиганского угленосного района Ленского бассейна принимают участие кембрийские, каменноугольные и пермские образования, слагающие фундамент. Мезозой здесь представлен морскими, прибрежно-морскими и континентальными образованиями

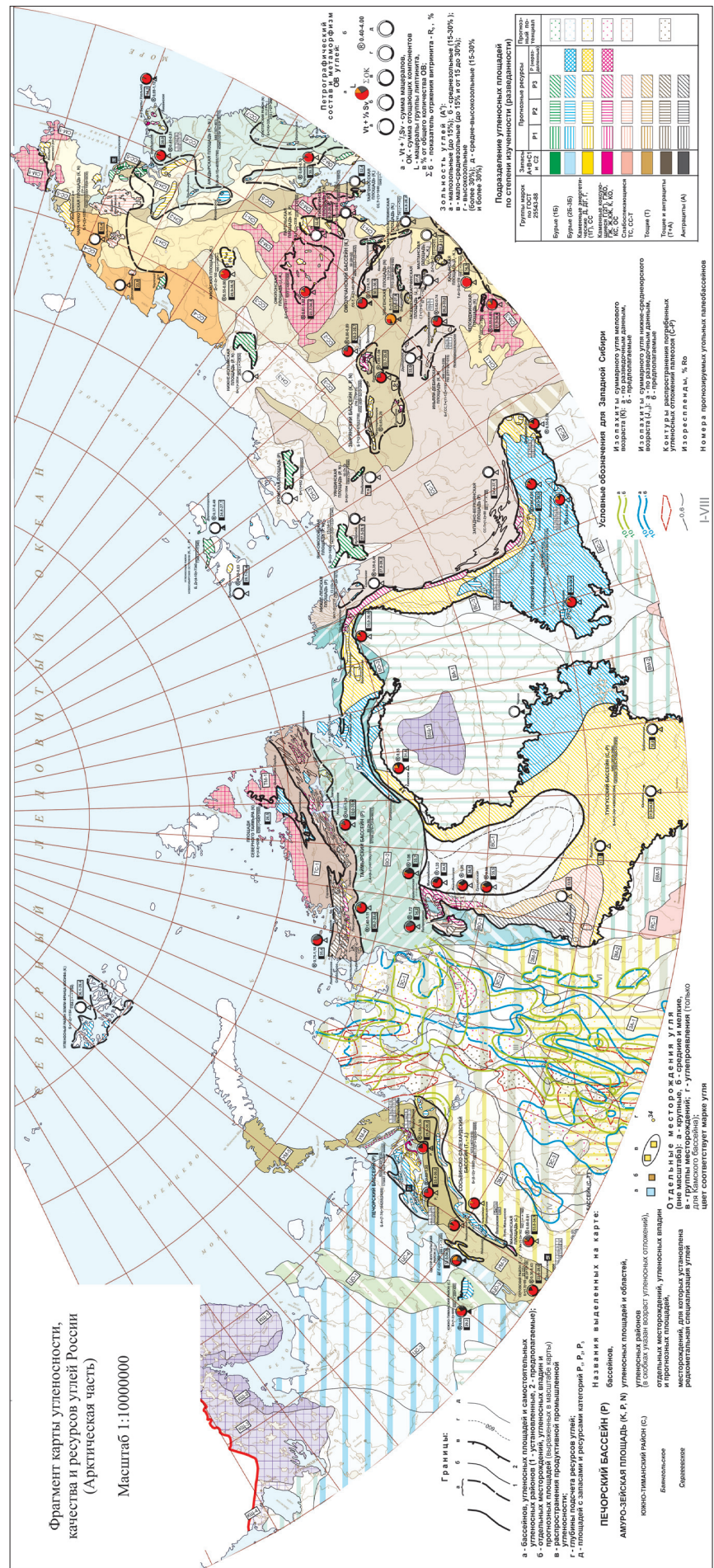


Рис. 3. Фрагмент карты угленосности, качества и ресурсов углей России масштаба 1:10000000 (Арктическая часть)

триаса, юры и мела. Угленосность выявлена только в разрезах верхнеюрских и нижнемеловых отложений: джаскойская (до 15 пластов), ынгырская (до 20 пластов), хатырыкская свиты (2 пласта). Угли района гумусовые. Наиболее типичны гелитовые и липоидо-гелитовые угли, в мацеральном составе которых значительно преобладает витринит (81-97%). Качество углей Жиганского района представлено в табл. 1. Угли района длиннопламенные. Жиганский район имеет следующие ресурсы угля (в млн т): Ынгырское месторождение – 0,9 (по категории P₁); Жиганское – 131,5 (P₁+P₂); Уатгахское- 9,8 (по категории P₁). Всего – 7042,2 млн т, в том числе по категориям: P₁ – 23,8, P₂ – 118,4, P₃ – 6900 (Угольная база России, 1999).

Установлены PЗЭ-, PЗЭ-Au-MПГ-, Au-Ag- и Sc-типы оруденения в угольных пластах. Суммарное содержание Y и PЗЭ- в золах углей месторождения достигает 816 г/т. Концентрация V – 830 г/т угля или 0,41% в золе.

Авторами получены новые количественные данные по содержаниям микроэлементов в углях отдельных месторождений угольных бассейнов Арктической зоны России – Зырянском и Ленском (табл. 2, 3). В таблицах жирным шрифтом выделены, по методике В.И. Вялова

и др. (2012), концентрации и микроэлементы, достигающие уровня промышленных содержаний в рудах. В углях Зырянского бассейна обнаружены высокие концентрации Cu, Zn, V, Sr, Zr, Cs, Hf, PЗЭ; в углях Ленского бассейна – Cu, Zn, Sr, Re и PЗЭ. Это свидетельствует о необходимости детального изучения металлоносности этих углей для количественной оценки ресурсов ценных металлов.

В геологическом строении Зырянского бассейна принимают участие отложения палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Угленосными являются нижнемеловые отложения, объединенные в зырянскую серию (K₁zn). Выделяются три свиты (снизу вверх): ожогинская (3 пласта), сияльская (56 пластов) и буоркемосская (91 пласт). Большинство углей по исходному растительному материалу относится к гумолитам. В мацеральном составе углей преобладает витринит, преимущественно в виде бесструктурной и слабоструктурной основной массы. Угли буоркемосской свиты представлены фюзинито-гелитами и фюзинито-гелититами. Угли сияльской и ожогинской свит представлены фюзинито-гелитами и ультрагелитами. Степень метаморфизма углей Зырянского бассейна изменяется от стадий Г до А, их качество представлено в табл. 4.

Свита, подсвита (возраст)	W ^a	A ^d	S _t ^d	V ^{daf}	Q _s ^{daf*}	C ^{daf}	H ^{daf}	Выход на горючую массу		
								смола	битум	гуминовые кислоты
Джаскойская (J ₃ dz)	12,2	13,7	1,1	44,3	30,07	75,2	5,0	7,6	2,0	33,1
Ынгырская (K ₁ in)	13,3	12,8	0,5	42,8	28,74	75,0	4,2	7,6	1,1	34,9
Хатырыкская (K ₁ ht)	13,2	12,2	0,3	40,7	29,02	73,0	4,8	6,8	-	6,8

Табл. 1. Средние показатели качества (в %) углей Жиганского района по стратиграфическому разрезу. *Q_s^{daf} – в МДж/кг.

№ №	Шифр пробы	Бассейн	Месторождение	Li	Sc	Co	Ni	Cu	Zn	Ge	Ag	Cd	Sb	Pb	A ^d ,%
1	СВ-620	Зырянский	Эрозионное	33,8	8,7	18,8	13,7	8,18	7,06	0,53	0,043	<0.1	0,3	8,58	18,1
2	СВ-622	Зырянский	Эрозионное	4,47	0,82	7,43	6,19	2,28	7,01	0,31	<0.01	<0.1	0,12	2,78	2,53
3	СВ-628	Зырянский	Эрозионное	6,45	0,86	3,3	3,74	2,66	4,74	0,19	<0.01	<0.1	<0.1	2,81	6
4	СВ-553	Зырянский	Эрозионное	16,3	4,92	2,13	1,22	7,51	3,98	0,4	<0.01	<0.1	<0.1	1,29	10,7
5	СВ-570	Зырянский	Эрозионное	5,61	3,95	9,26	9,12	10,5	25,8	1,21	0,016	<0.1	0,24	5,91	9,74
6	СВ-697	Зырянский	Буоркемосское	3,91	1,23	<0.5	1,16	10,4	4,17	0,47	0,057	<0.1	0,16	10,5	6,3
7	СВ-866А	Зырянский	Буоркемосское	4,92	1,53	13,7	6,16	4,12	4,41	0,93	<0.01	<0.1	2,62	2,35	5,67
8	СВ-866Б	Зырянский	Буоркемосское	13,5	10	13,8	11,9	22,9	12,4	1,46	0,029	<0.1	0,47	1,79	20
9	СВ-843	Зырянский	Харангское	5,15	0,77	0,57	<1.0	3,05	2,99	0,3	<0.01	<0.1	<0.1	1,64	3,79
10	СВ-679	Зырянский	Сибик-2	1,15	0,52	1,21	1,95	2,6	5,3	0,81	<0.01	<0.1	0,25	1,23	1,24
11	УК-16	Ленский	Сангарское	1,67	1,21	8,16	6,14	3,23	3,26	0,26	<0.01	<0.1	<0.1	1,22	9,27
12	УК-15	Ленский	Таймыльское	1,3	0,85	29,7	25,6	5,52	2,92	0,19	0,028	0,18	<0.1	1,37	5,2
13	КАН-1	Ленский	Кангаласское	12	7,45	1,59	5,03	19,1	121	0,69	0,024	<0.1	0,19	8,01	34,4

Табл. 2. Результаты анализов углей (кислотное выщелачивание, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS)), г/т в угле. Здесь и далее жирным шрифтом выделены содержания, превышающие минимальные, возможно, промышленно значимые по (Вялов и др., 2012).

№№	Be	V	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	N	Mo	Cs	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Hf	Ta	W	Th	U	Re	TR
1	4,92	238	17,4	8,28	107	90	952	24,2	<0.6	0,28	21,6	47,1	5,45	19,5	5,02	1,56	7,36	1,78	14,4	3,04	10,7	23,4	1,37	1,18	11,9	6,63	<0.05	241,08
2	7,82	102	35,9	5,54	950	105	283	16,1	15,9	0,27	199	369	40,8	153	33,1	5,02	26,9	3,02	16,2	3,15	9,79	9,47	0,66	1,28	12,3	12	<0.05	974,19
3	2,6	36,8	25,8	5,31	582	47,4	90,7	7,45	3,7	0,24	11,5	23	2,92	12,4	3,96	0,82	5,26	1,22	8,29	1,65	5,94	2,95	0,32	0,56	7,83	10,5	<0.05	131,63
4	2,19	286	16,4	2,05	962	132	111	17,1	2,45	0,16	76,1	170	28,4	148	44,6	9,8	33,8	5,46	30,6	5,57	15,4	3,03	0,26	3,66	5,75	6,09	<0.05	714,54
5	4,12	235	29,1	32,5	251	77,8	268	16	3,95	3,1	28,9	64,7	8,97	38,4	8,86	1,88	9,07	1,83	11,8	2,46	7,85	7,92	0,78	4,17	7,65	3,12	<0.05	272,02
6	1,77	43,2	9,05	2,15	817	49,2	390	18,4	131	0,22	226	366	33,5	83,2	9	1,56	11,1	1,31	7,91	1,65	5,64	10,8	1,67	21,6	24,5	8,46	<0.05	803,71
7	6,42	184	21,6	8,75	255	21,9	258	8,91	3,51	0,39	39	67,4	7,52	27,8	5,32	1,2	4,9	0,78	4,28	0,73	2,34	7,83	0,51	0,78	8,58	3,59	<0.05	186,17
8	2,62	612	20,8	27,2	791	12	514	7,29	0,86	0,68	90,2	165	18,7	54,6	5,35	1,01	4,62	0,51	2,4	0,49	1,6	9,77	0,31	1,18	8,59	1,32	<0.05	359,07
9	1,9	95,7	14,9	6,05	634	17,1	143	8,6	2,61	0,47	41,1	85,9	9,87	37,9	6,65	1,33	5,22	0,76	3,75	0,56	1,96	3,79	0,36	1,3	8,01	2,38	<0.05	214,33
10	5,37	148	33,8	7,55	221	61,5	367	16,4	38,1	0,8	40,7	95,4	11,9	45,6	9,18	2,05	9,65	1,4	8,48	1,81	5,44	12	1,41	10,1	33,8	7,82	<0.05	300,31
11	1,06	90,7	21	11,3	464	22,3	446	21,2	1,66	0,74	35,2	65,5	7,71	29,2	5,1	1,24	4,3	0,62	4,08	0,75	2,22	12,1	1,41	1,41	17,3	4,84	<0.05	181,29
12	1,12	115	19,3	7,17	3240	22,5	157	11,2	3,37	0,54	20,9	46,2	6,12	24,7	6,8	1,71	4,81	0,79	4,32	0,82	2,3	4,72	0,67	1,05	8,12	2,68	0,093	144,48
13	2,23	157	16,2	19,6	719	51	631	23,7	3,5	0,39	58,2	112	13,8	53,7	10,5	2,33	9,2	1,36	8,48	1,7	4,96	17	1,89	3,85	22,8	6,62	<0.05	333,32

Табл. 3. Результаты анализов углей (сплавнение, масс-спектрометрия с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS)), г/т в золе углей

Свита, подсвита (возраст)	W_t^r	A^d	S_t^d	V^{daf}	Q_s^{daf*}	C^{daf}	H^{daf}
Буоркемюсская (K ₁ br)	8,5	17,8	0,2	32,5	34,2	82,0	5,0
Силяпская (K ₁ sl)	12,7	13,6	0,3	17,2	34,0	88,7	4,2
Ожогинская (K ₁ og)	-	32,3	0,7	11,0	33,3	89,6	3,2

Табл. 4. Средние показатели качества (в %) углей Зырянского бассейна. * Q_s^{daf} – в МДж/кг.

Балансовые запасы угля на территории бассейна составляют 198 млн т (A+B+C₁ и C₂). Общие прогнозные ресурсы углей категорий P₁+P₂+P₃ до глубины 600 и 1500 м – 8,5 млрд т.

Авторами изучены особенности распределения редких и ценных металлов в углях Олюторского района Камчатки (Корфское и Эчваямское месторождения). Угленосность Корфского и Эчваямского месторождений связана с отложениями корфской (N₁kr) и медвежжинской (N₁md) свит, соответственно. В строении угленосной корфской свиты принимает участие более 40 угольных пластов и пропластков, из них 14 мощностью более 0,7 м при общей мощности 62,2 м. Медвежжинская свита включает 15 пластов бурого угля мощностью от 0,2 до 11,5 м. Угли Корфского месторождения соответствуют технологической группе ЗБВ, их можно использовать в качестве энергетического и технологического топлива. Угли Эчваямского месторождения относятся к технологической группе 2Б. Балансовые запасы углей Корфского месторождения (категории A+B+C₁) составляют 10645 млн т, в том числе для открытых работ 4841 млн т. Запасы углей Эчваямского месторождения по категории C₂ на площади 0,8 км² (участок «Лосиный») оценены в 1736 млн т (Угольная база России, 1999).

В табл. 5 приведены средние содержания металлов в углях изученных месторождений Камчатки.

В углях преобладают элементы-литофилы (Li, Sc, V, Zr и PЗЭ) с промышленными значениями концентраций. PЗЭ (в сумме с Y) в золе углей Корфского месторождения – 1848 г/т. На Корфском месторождении преобладают редкоземельные элементы цериевой группы (PЗЭ_{сц}/PЗЭ_у=2,7), на Эчваямском незначительно преобладают элементы иттриевой (PЗЭ_{сц}/PЗЭ_у=0,8).

Оценка прогнозных ресурсов ценных металлов в углях Корфского месторождения (табл. 6) показывает значительное количество ценных металлов, что увеличивает инвестиционную привлекательность изученных угольных объектов (Шишов, Богомолов, 2014; Вялов и др., 2017).

В 2000-2006 гг. ФГУ НПП Полярной Морской Геологоразведочной Экспедицией при проведении работ по составлению комплектов ГГК-1000 на площадях листов U-37-40 и U-41-44 в бурых углях архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) были установлены повышенные концентрации ряда редких металлов (Государственная

Месторождение	Содержание металлов в золе/угле, г/т							
	TR	Sr	Zr	Mo	Ga	V	Sc	МПГ
Корфское	445,5/161,7	425,1/154,3	261/ 94,7	32,4/ 11,7	22,4/ 8,1	442,2/160,5	22,3/8,1	0,13/0,048
Эчваямское	312,4/	459,3/	377,7/	2,13/	28,6/	416,8/	/27,8	/0,015

Табл. 5. Средние содержания металлов в золах/углях Олюторского района Камчатки. Жирным шрифтом выделены концентрации химических элементов, достигающие уровня концентраций в промышленных типах руд.

Корфское	TR	Sr	Zr	Mo	Ga	V	Sc	МПГ, тонн
Прогнозные ресурсы, тысяч т								
P ₂	1,7	1,6	1,0	0,1	0,1	1,70	0,1	0,5
P ₃	72,8	69,4	42,6	5,3	3,6	72,2	3,6	21,6
P ₂ +P ₃	74,5	71,1	43,6	5,4	3,7	73,9	3,7	22,1

Табл. 6. Прогнозные ресурсы металлов в углях Корфского месторождения

геологическая карта..., 2006; 2011). Угленосность архипелага Земля Франца-Иосифа связана с верхнетриасовыми, нижнеюрскими и нижнемеловыми отложениями. Коэффициент угленосности верхнетриасовых и раннеюрских отложений – 0,5%. Позднетриасовые-раннеюрские угли имеют R₀ витринита от 0,29 до 0,48%, степень углефикации – B₂ и B₃. Отличительной чертой позднетриасовых-раннеюрских углей архипелага ЗФИ является их повсеместно повышенная германиеность (от 20 до 230 г/т в угле по данным атомно-эмиссионного анализа). Наиболее значительной угленосностью характеризуются нижнемеловые вулканогенно-осадочные отложения архипелага Земля Франца-Иосифа. Бурые угли образуют пласты мощностью от 0,5 до 8 м в раннемеловых терригенных отложениях, подстилающих покровы раннемеловых базальтов, а также в межбазальтовых терригенных пачках. Наиболее значительные углепроявления установлены на островах Земля Александры, Грили, Куна, Нортбрук, Луиджи, Солсбери, Гукера, Земля Вильчека (рис. 4).

В углях проявления «Куна» установлено до 600 г/т суммы PЗЭ (в том числе: Y – до 113 г/т, La – до 81 и Ce – до 187 г/т), до 5 г/т Ge, 10 г/т Sc. В золе углей содержится до 3000 г/т V и более 10 кг/т Ti. Отмечаются рудные (до 1 кг/т каждый) содержания никеля и кобальта и присутствие 50 г/т сурьмы – в углях острова Кейна.

В 2000 г. А.А. Макарьевым и Е.М. Макарьевой выявлено проявление «Чельдсен» и рекомендовано для поисковых работ в качестве примера иттриеносных углей и глинистых кор выветривания. Проявление располагается на м. Чельдсен южного берега о.Луиджи. Поисковыми работами 2006 г. установлено, что проявление локализовано между кровлей пластовой интрузии габбро-долеритов и подошвой базальтовой толщи. В золе углей, по данным приближенно-количественного спектрального анализа, содержится 150 г/т Y, 20 г/т Sc, 2 г/т Ge, от 100 до 300 г/т V и более 10 кг/т Ti.

Наиболее значительным является углепроявление «Персей», расположенное на северо-восточном берегу одноименного залива. Марка углей Б, группа ЗБ, подгруппа ЗБВ. По вещественному составу угли относятся к гелитам, фюзинито-гелитам и липоидо-фюзинито-гелитам. В западной части углепроявления, расположенной непосредственно под высокотемпературной интрузией,

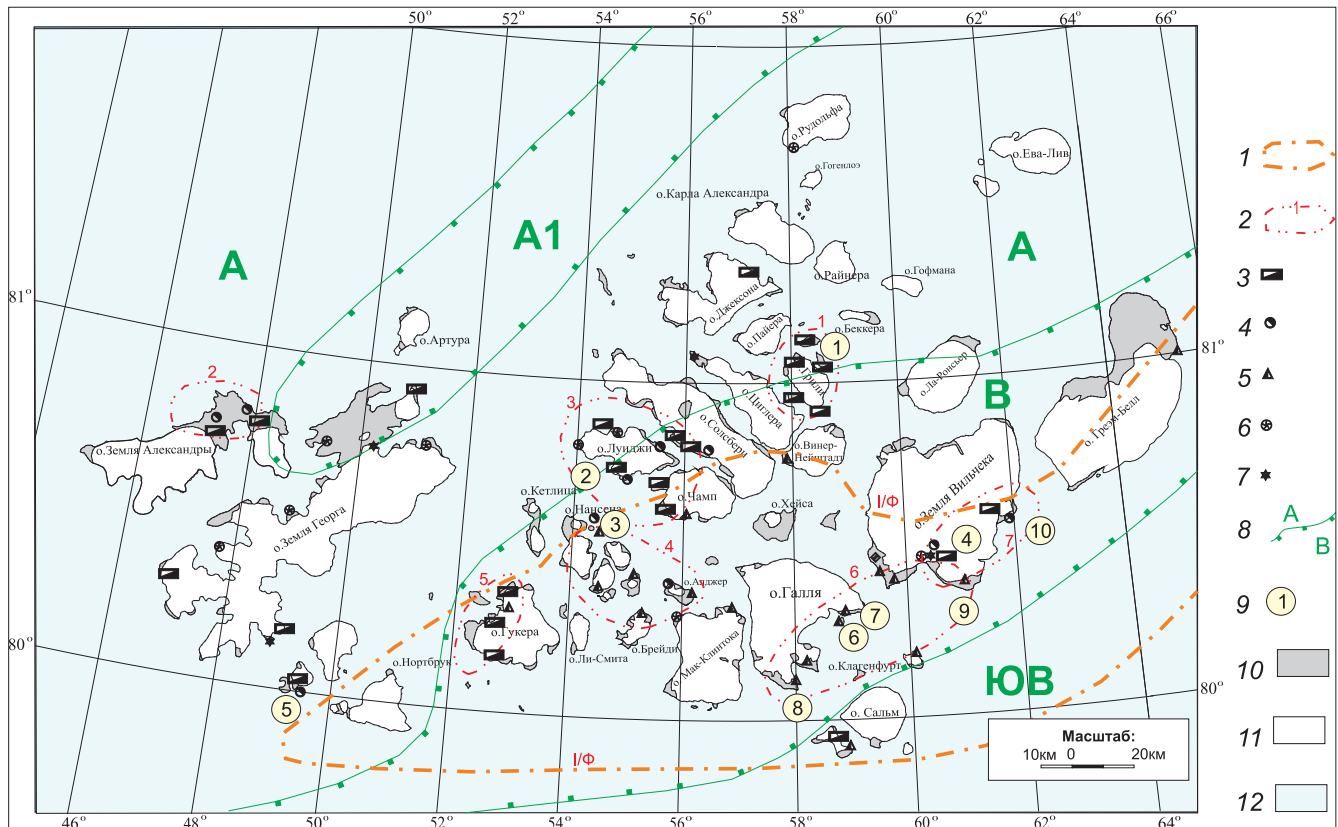


Рис. 4. Карта полезных ископаемых архипелага Земля Франца-Иосифа с элементами минерагенического и тектонического районирования. 1-2 – элементы минерагенического районирования: 1 – Вильчековский минерагенический район; 2 – зоны угленакопления (1 – Куна-Грилевская, 2 – Александровская, 3 – Чамп-Луиджинская, 5 – Гукеровская, 7 – Южно-Вильчевская) и фосфоритоносные узлы (4 – Алджеровский, 6 – Франкфуртский); 3-7 – проявления твердых полезных ископаемых: 3 – раннемеловые угли; 4 – раннемеловые глинистые коры выветривания, обогащенные редкими землями, титаном, ванадием; 5 – фосфориты позднеюрской терригенной желваковой формации; 6 – окаменелая подолочная древесина; 7 – азаты, халцедоны; 8 – границы и индексы тектонических структур II порядка (А – Александровское поднятие, А1 – грабен Кембридж, В – Вильчевская впадина, В – Юго-Восточная впадина; 9 – участки проведения поисковых работ (1 – о. Куна; 2 – о. Луиджи, м. Чельдсен; 3 – о. Уилтон; 4 – о. Земля Вильчека, зал. Персей; 5 – о. Мейбел, М. Конрада; 6 – о. Бергхауз; 7 – о. Галля, М. Франкфурт; 8 – о. Галля, М. Тегетгоф; 9 – о. Земля Вильчека, м. Хефера; 10 – о. Земля Вильчека, м. Ламон); 10-12 – прочие обозначения: 10 – обнаженная суша, 11 – ледники, 12 – море.

установлены ураганные содержания Ge, Ni, Co и Nb, Sn, Zr в углях.

Концентрации ряда элементов значительно превышают минимально-промышленные. Подсчитаны прогнозные ресурсы показаны в табл. 7.

Микроэлементы в углях находятся как в органическом веществе, так и в составе минеральных примесей. Набор металлов, характерный для той или иной формы распределения (в органическом или минеральном веществе углей), существенно отличается на разных месторождениях. Однако Ge, W, Sb, Mo зачастую тяготеют к органической части углей; Li, Ti, Rb, Cs, Ta, Nb – к минеральной; а Sc, V, Sr, РЗЭ и другие металлы – как к органической, так и неорганической.

На рисунках 5-11 приведены результаты электронно-микроскопических исследований минеральных включений (с локальным микроанализом для их диагностики) углей Арктической зоны России.

По данным корреляции микро- и макроэлементов в углях, с карбонатами и окислами связывается Sr, с силикатами и окислами – Ga, V, Ti, с фосфатами – Sc; РЗЭ (монацит, апатит).

Выводы

В углях ряда месторождений Арктической зоны России установлены аномальные концентрации целого ряда ценных элементов-примесей (Sc, Ti, V, Ga, Ge, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, РЗЭ и др.).

Попутные компоненты		TiO ₂	V ₂ O ₅	Th	Y ₂ O ₃	TR ₂ O ₃	Sc
Количество проб		7			3	2	3
Параметры	Мощность пластов (м)	8	8	8	2	2	2
	Площадь (км ²)	1					
	Вес угля (млн.т) при уд.весе 1,5 т/м ³	12	12	12	3	3	3
	Среднее содержание в углях (г/т),	>5950	785	14	310	578	11
	Ресурсы (тыс.тонн) по кат. Р ₃	>71	9,43	0,168	0,93	1,73	0,033

Табл. 7. Содержания и прогнозные ресурсы (Р₃) попутных компонентов в углях проявления «Персей»

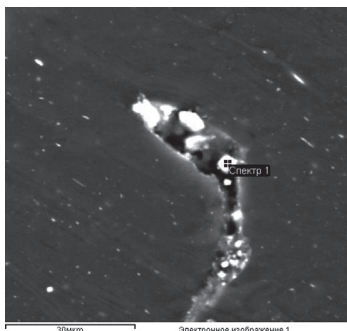


Рис. 5. Карбонаты в угле. Кальцит в угольной поре, Западно-Сибирский бассейн, глубина 3041,1 м, каменный уголь, марка Д

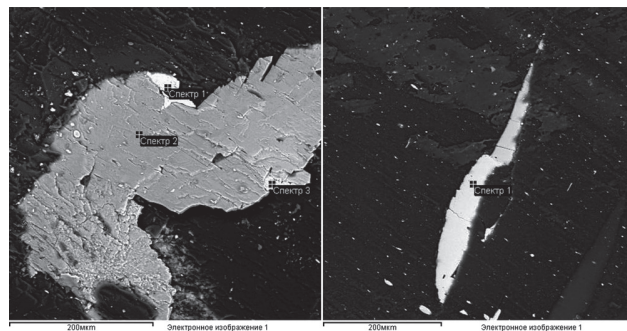


Рис. 6. Полевой шпат в угле, Западно-Сибирский бассейн, глубина 3041,1 м, каменный уголь, марка Д.

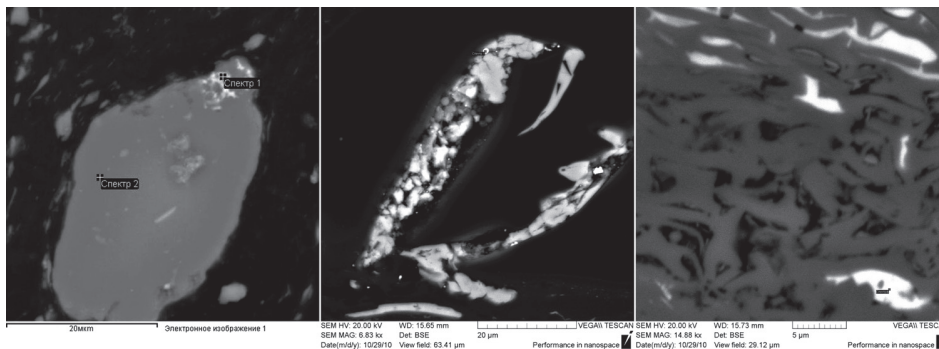


Рис. 7. Рутил в угольном веществе: 1 – рутил (спектр 1) в кварцевом зерне (спектр 2); 2 – рутил (ярко-белое) в угольных порах; 3 – рутил (белое) в инертините. Тунгусский бассейн, р. Горбиачин, контактовый антрацит.

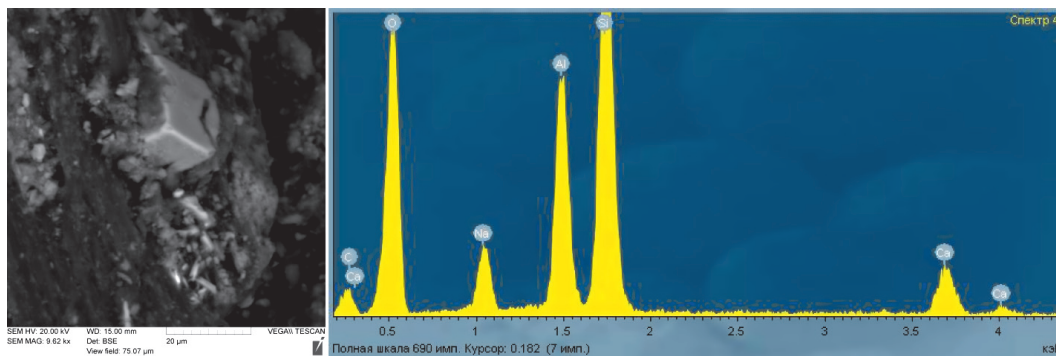


Рис. 8. Плагиоклаз в пробе угля средней фракции по удельному весу (1,3- 1,6 г/см³) Эчвямского месторождения

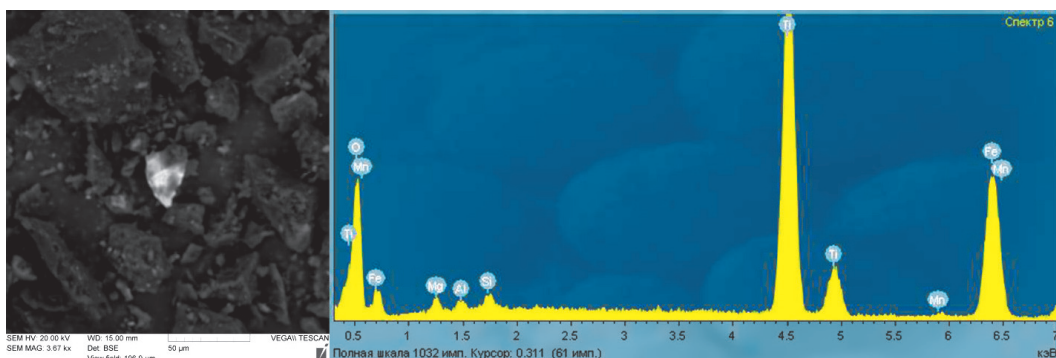


Рис. 9. Зерно рутила в пробе угля Эчвямского месторождения

Эти угли следует рассматривать в качестве потенциального источника цветных, редких и благородных металлов. Представленные в статье данные показывают, что угольные месторождений Арктической части России должны рассматриваться как нетрадиционный

и перспективный сырьевой источник ценных металлов. Необходимо продолжить исследования по металлоносности угольных бассейнов и месторождений Арктической зоны и оценить геологические ресурсы содержащихся в них ценных металлов.

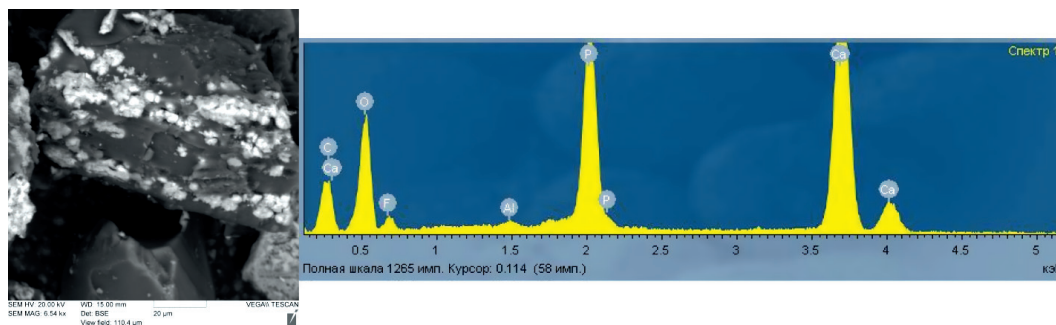


Рис. 10. Апатит в тяжелой фракции угля (более 1,6 г/см³) Корфского месторождения

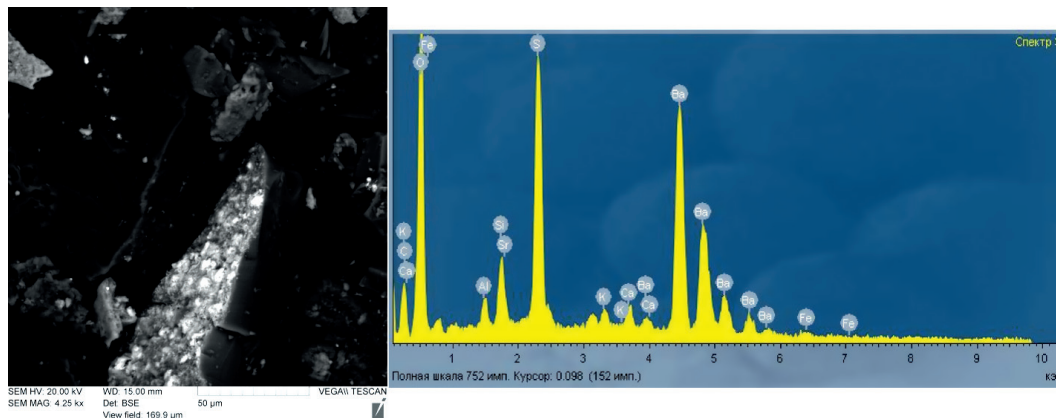


Рис. 11. Барит в тяжелой фракции угля Корфского месторождения

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-17-00004).

Литература

- Вялов В.И., Коломенская В.Г. (1996). Вещественно-петрографический состав и геохимические особенности метаантрацитов и графитов Таймырского угольного бассейна. *Химия твердого топлива*, 1, с. 3-13.
- Вялов В.И., Кузеванова Е.В., Ларичев А.И., Богомолов А.Х., Гамов М.И. (2012). Редкие металлы в буроугольных месторождениях Приморья и их ресурсный потенциал. *Региональная геология и металлогения*, 51, с. 96-105.
- Вялов В.И., Богомолов А.Х., Шишов Е.П., Чернышев А.А. (2017). Угольные месторождения Дальнего Востока России и ресурсный потенциал содержащихся в них ценных металлов. *Георесурсы*, Спецвыпуск, с. 256-262. DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.25>
- Голицын М.В., Голицын А.М., Андросов Б.Н., Шнырев Л.Н., Соловьев Д.Г. (1992). Угли Западной Сибири. *Изв. вузов. Геология и разведка*, 2, с. 75-83.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации (2006). Масштаб 1:1 000 000 (новая серия). Лист U-37-40 – Земля Франца-Иосифа (северные острова). СПб.: ВСЕГЕИ.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации (2011). Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист U-41-44 – Земля Франца-Иосифа (восточные острова). Дымов В. А., Качурина Н. В., Макарьев А. А., Макарьева Е. М. и др. Объяснительная записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 220 с. + 6 вкл.
- Звонарев И.Н. (1982). Обь-Енисейская угленосная площадь. Геология СССР. Т.XIV. Западная Сибирь. Полезные ископаемые. Кн. 1, М.: Недра, с. 82-89.
- Карта топливно-энергетических ресурсов России (1982). Масштаб 1:5000000. В.И. Вялов, М.И. Лоджевская, Ю.Н. Григоренко и др. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ.
- Минерально-сырьевые ресурсы Российской Арктики (состояние, перспективы, направления исследований) (2007). Ред. Додин Д.А., Евдокимов А.Н., Каминский В.Д. и др. СПб.: Наука, 767 с.
- Петрологический атлас ископаемого органического вещества России (2006). Ред. В.И. Вялов, И.Б. Волкова, Г.М. Волкова и др. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 604 с.

- Угольная база России (1999). Т. V. Кн. 2. М.: Геоинформмарк, 638 с.
- Шишов Е.П., Богомолов А.Х. (2014). Многоэлементная металлоносность Корфского и Эчваямского буроугольных месторождений (Камчатка). *Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология*, 6, с. 70-75. <https://doi.org/10.3103/S0145875214060106>
- Юзвический А.З., Фомичев А.С., Бостриков О.И. (2000). Западно-Сибирский угленосный бассейн. *Отечественная геология*, с. 25-33.

Сведения об авторах

Владимир Ильич Вялов – доктор геол.-мин. наук, главный научный сотрудник Всероссийского научно-исследовательского геологического института имени А.П. Карпинского, профессор Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, профессор Южного федерального университета

Россия, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74
E-mail: Vladimir_Vyalov@vsegei.ru

Александр Христофорович Богомолов – канд. геол.-мин. наук, доцент

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет
Россия, 119899, Москва, Воробьевы горы

Алексей Валерьевич Наставкин – кандидат геол.-мин. наук, заведующий кафедрой месторождений полезных ископаемых, Южный федеральный университет
Россия, 344006, Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42
E-mail: nastavkin@sfedu.ru

Евгения Владимировна Кузеванова – канд. геол.-мин. наук, научный сотрудник

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Геологический факультет
Россия, 119899, Москва, Воробьевы горы

Евгений Павлович Шишов – старший научный сотрудник отдела геологии горючих полезных ископаемых, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского

Россия, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74
E-mail: Evgeny_Shishov@vsegei.ru

Артём Артурович Чернышев – научный сотрудник отдела геологии горючих полезных ископаемых, Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского

Россия, 199106, Санкт-Петербург, Средний пр., д. 74
E-mail: Artem_Chernyshev@vsegei.ru

Статья поступила в редакцию 20.12.2018;

Принята к публикации 27.02.2019; Опубликована 20.05.2019

IN ENGLISH

Valuable metals in coals of the Russian Arctic zone

V.I. Vyalov^{1,2,3}, A.Kh. Bogomolov¹, A.V. Nastavkin², E.V. Kuzevanova¹, E.P. Shishov^{3*}, A.A. Chernyshev³

¹Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

²South Federal University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russian Federation

*Corresponding author: Evgeny P. Shishov, e-mail: e-shishov@mail.ru

Abstract. The research results of rare and valuable metals and estimations of resources of these metals in the coal deposits of the Russian Arctic zone are presented. In coal deposits in the Arctic zone of Russia (Pechora, Lensky, Tungusky, Taimyrsky, Zyryansky coal basins, coal deposits of Chukotka, Kamchatka, Franz Josef Land) anomalous concentrations of trace elements (Sc, Ti, V, Ga, Ge, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, REE, etc.) have been established. The metal contents in the coals of the Lensky and Zyryansky basins, the deposits of Kamchatka, and the Franz Josef Land are given. The results of electron microscopic studies of mineral inclusions (with local microanalysis for their diagnosis) of coals of the Russian Arctic are presented. The results of calculating the prognostic resources of TiO₂, V₂O₅, Th, Y₂O₃, REE₂O₃, Sc, Mo, Ga, and other metals in the studied deposits are given. It is shown that coal deposits of the Russian Arctic zone should be considered as an unconventional and promising source of valuable metals. It is necessary to conduct extensive studies of the metal content of coal basins and deposits in the Arctic zone of Russia and assess the geological resources of the valuable metals contained in them.

Keywords: coal, coal deposits, the Arctic zone of Russia, rare metals, trace elements, quality of coal, prognostic resources, metal content of coal, mineral resources base

Recommended citation: Vyalov V.I., Bogomolov A.Kh., Nastavkin A.V., Kuzevanova E.V., Shishov E.P., Chernyshev A.A. (2019). Valuable metals in coals of the Russian Arctic Zone. *Georesursy = Georesources*, 21(2), pp. 53-62. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.2.53-62>

References

- Golitsyn M.V., Golitsyn A.M., Androsov B.N., Shnyrev L.N., Soloviev D.G. (1992). Coals of Western Siberia. *Izv. vuzov. Geologiya i razvedka*, 2, pp. 75-83. (In Russ.)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii (2006) [State geological map of the Russian Federation]. Scale 1:1 000 000. Leaf U-37-40 – Franz Josef Land (Northern Islands). St.Petersburg: VSEGEI. (In Russ.)
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii [State geological map of the Russian Federation] (2011). Scale 1:1 000 000. North-Kara-Barents Sea Series. Leaf U-41-44 – Franz Josef Land (Eastern Islands). Ed. Dymov V.A. et al. St.Petersburg: VSEGEI, 220 p. (In Russ.)
- Karta toplivno-energeticheskikh resursov Rossii [Map of fuel and energy resources of Russia]. (1982). Scale 1:5000000. Ed. V.I. Vyalov, M.I. Lodzhevskaya et al. St.Petersburg: VSEGEI. (In Russ.)
- Mineral'no-syr'evye resursy Rossiiskoi Arktiki (sostoyanie, perspektivy, napravleniya issledovaniy) [Mineral and raw material resources of the Russian Arctic (state, prospects, research directions)]. (2007). Ed. Dodin D.A., Evdokimov A.N., Kaminskii V.D. et al. St.Petersburg: Nauka, 767 p. (In Russ.)
- Petrologicheskii atlas iskopaemogo organicheskogo veshchestva Rossii [Petrological Atlas of Fossil Organic Matter of Russia]. (2006). Ed. V.I. Vyalov, I.B. Volkova, G.M. Volkova et al. St.Petersburg: VSEGEI, 604 p. (In Russ.)
- Shishov E.P., Bogomolov A.Kh. (2014). The multielement metal-bearing capacity of the Korf and Echvayam brown coal deposits (Kamchatka).

Moscow University Geology Bulletin, 69(6), pp. 445-451. (In Russ.) <https://doi.org/10.3103/S0145875214060106>

Ugolnaya baza Rossii [The coal base of Russia]. (1999). Vol. V. Book 2. Moscow: Geoinformmark, 638 p. (In Russ.)

Vyalov V.I., Bogomolov A.Kh., Shishov E.P., Chernyshev A.A. (2017). Coal deposits of the Far East Russia and resource potential of precious metals contained in them. *Georesursy = Georesources*, Special issue, pp. 256-262. (In Russ.) DOI: <http://doi.org/10.18599/grs.19.25>

Vyalov V.I., Kolomenskaya V.G. (1996). The matter-petrographic composition and geochemical features of meta-anthracites and graphites of the Taimyr coal basin. *Khimiya tverdogo topliva = Solid Fuel Chemistry*, 1, pp. 3-13. (In Russ.)

Vyalov V.I., Kuzevanova E.G., Larichev A.I., Bogomolov A.Kh., Gamov M.I. (2012). Rare metals in brown coal deposits of Primorye and their resource potential. *Regional'naya geologiya i metallogeniya = Regional geology and metallogeny*, 51, pp. 96-105. (In Russ.)

Yuzvitskii A.Z., Fomichev A.S., Bostrikov O.I. (2000). West Siberian coal basin. *Otechestvennaya geologiya*, pp. 25-33. (In Russ.)

Zvonarev I.N. (1982). Ob'-Eniseiskaya uglenosnaya ploshchad'. *Geologiya SSSR [Ob-Yenisei coal-bearing area. Geology of the USSR]*. Vol. XIV. Western Siberia. Minerals. Book 1, Moscow: Nedra, pp. 82-89. (In Russ.)

About the Authors

Vladimir I. Vyalov – DSc (Geology and Mineralogy), Chief Researcher, Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI); Professor, Lomonosov Moscow State University & South Federal University

74, Sredny prospect, 199106, St. Petersburg, Russian Federation

Aleksandr Kh. Bogomolov – PhD (Geology and Mineralogy), Associate Professor, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology

Vorob'evy gory, Moscow, 119899, Russian Federation

Aleksey V. Nastavkin – PhD (Geology and Mineralogy), Head of the Mineral Deposits Department, Southern Federal University 105/42, Bolshaya Sadovaya st., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation

Evgenia V. Kuzevanova – PhD (Geology and Mineralogy), Researcher, Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology Vorob'evy gory, Moscow, 119899, Russian Federation

Evgeny P. Shishov – Senior Researcher, Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI) 74, Sredny prospect, 199106, St. Petersburg, Russian Federation
E-mail: Evgeny_Shishov@vsegei.ru

Artem A. Chernyshev – Researcher, Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI) 74, Sredny prospect, 199106, St. Petersburg, Russian Federation

Manuscript received 20 December 2018;

Accepted 27 February 2019; Published 20 May 2019