

НОВЫЕ ДАННЫЕ О МЕТАЛЛОНОСНОСТИ УГЛЕЙ САХАЛИНА

© 2022 г. В. И. Вялов^{1,2,*}, А. В. Наставкин^{2,**}, Е. П. Шишов^{1,***}

¹ ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический институт имени А.П. Карпинского, 199106 Санкт-Петербург, Россия

² ФГАОУ ВО “Южный федеральный университет”, 344006 Ростов-на-Дону, Россия

*e-mail: vladimir_vyalov@vsegei.ru

**e-mail: nastavkin@sfedu.ru

***e-mail: evgeny_shishov@vsegei.ru

Поступила в редакцию 07.06.2022 г.

После доработки 26.07.2022 г.

Принята к публикации 03.08.2022 г.

Проведено изучение уровней концентраций ценных элементов-примесей в углях ряда месторождений Сахалина. Установлено, что все изученные месторождения являются потенциально промышленно металлоносными в отношении Sc, REE, Cs, Rb, Sr. Для Новиковского германий-угольного месторождения (участки Восточный 1, Резервный) выявлен широкий спектр ценных металлов с минимальными промышленными концентрациями: Ge, Sc, Mo, Y, W, Cs, Rb, Sr, Sb. Выполнена оценка прогнозных ресурсов ценных металлов этого месторождения, сделан вывод о крупном ресурсном потенциале ценных металлов в углях Сахалина.

Ключевые слова: уголь, металлоносность, промышленно, потенциально ценные микроэлементы, элементы-примеси, концентрация

DOI: 10.31857/S0023117722060123

ВВЕДЕНИЕ

Сахалинская область – крупный угледобывающий регион России с добычей около 10 млн т бурых и каменных углей (в соотношении примерно 2 : 1), запасами углей около 2.6 млрд т (примерно в равном соотношении бурых и каменных). Однако только одно Новиковское месторождение разрабатывалось на германий. Отсюда понятие “металлоносные угли” должно связываться с потенциальной возможностью их промышленного использования для рентабельного извлечения металлов, содержащихся в них на достаточных для этого уровнях концентраций. Рационально провести исследование металлоносности углей Сахалина и на другие ценные элементы, используя следующий подход: если эти элементы имеют в углях концентрации, достигающие или превышающие так называемые минимальные промышленные содержания тех или иных элементов в специальных типах промышленных руд [1], тогда они должны подлежать количественной оценке и, соответственно, их ресурсы должны быть обязательно оценены и учтены.

Ранее [2] для Новиковского месторождения уже были установлены в угольной золе промышленные содержания REE (в пересчете на оксиды), Rb₂O, Cs₂O, SrO. С.И. Арбузовым и соавт. [3] изу-

чалась геохимия семи редкоземельных элементов (La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) в сахалинских углях. В.П. Нечаевым и соавт. [4] такие работы проводились по Горнозаводскому месторождению, но лишь по одной пробе.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Авторами статьи проведено опробование углей Новиковского (82 пробы), а также других месторождений (Углегорское, Лопатинское, Макаровское, Горнозаводское, Вахрушевское, Первомайское, Солнцевское, Тихоновичское, Най-Найское, по которым было отобрано еще 117 проб).

Микроэлементный состав образцов определен и изучен в основном с использованием: 1) масс-спектрометрии, атомно-эмиссионного метода с индуктивно-связанной плазмой (ICP AES, сплавление), в том числе по углям – по специальной методике, позволяющей избежать потерь элементов-примесей традиционным (путем озоления) способом пробоподготовки для анализа методом ICP MS (полное кислотное выщелачивание); анализы производились в ЦЛ ФГБУ “ВСЕГЕИ” под руководством Г.А. Олейниковой; 2) углепетрографии (в Углепетрографической лаборатории ФГБУ “ВСЕГЕИ”, аналитик Г.М. Волкова);

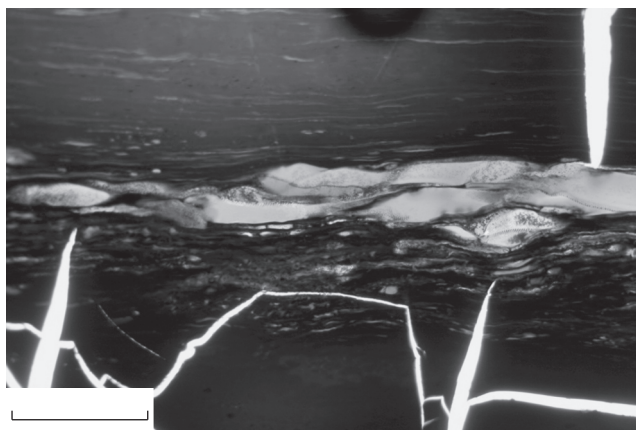


Рис. 1. Новиковское месторождение. Пласт II. Коллинит, в центре – скопление резинита (светло-серый). Проходящий свет. Увеличение 70.

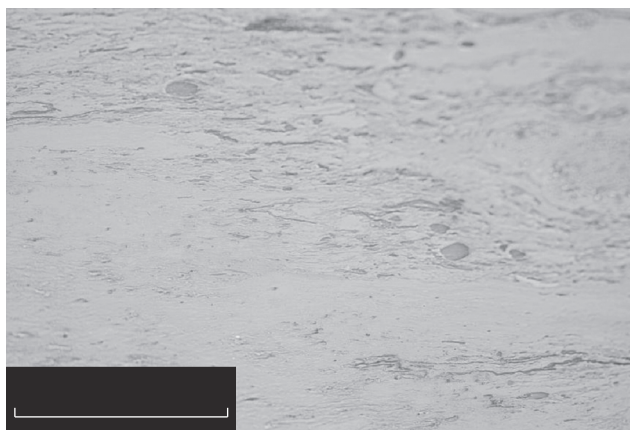


Рис. 2. Новиковское месторождение. Пласт II. Коллинит (основная масса) со споринитом, обрывками кутина и резинитом (темно-серые). Отраженный свет. Увеличение 70.

3) электронной микроскопии (в ЦКП “ЦИМС” ЮФУ, аналитик Ю.В. Попов).

Исходными аналитическими данными стали результаты анализов углей Новиковского месторождения, а также проб углей других указанных месторождений Сахалина.

Методика оценки состояла в сравнении и оценке полученных аналитических результатов с минимальными промышленными содержаниями ценных элементов [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно вещественно-петрографической классификацией углей ВСЕГЕИ [5], изученные угли месторождений Сахалина относятся к классу гелитолитов с повышенным содержанием мацералов группы витринита (от 81 до 99%) и принадлежат к различным типам гелитов (ультрагелиты,

гелиты и липоидо-гелиты, липоидо-фюзинито-гелиты), что благоприятно для концентрирования германия и сопутствующих ему ценных металлов [6]. Содержание мацералов группы инертинита не превышает 12%, обычно 2–3%, липоидные компоненты содержатся в количестве 3–13%, редко выше, водоросли в незначительном количестве. На рис. 1 и 2 показан петрографический состав углей Новиковского месторождения.

Среди минеральных компонентов преобладает тонкодисперсно-глинистое вещество, пирит, кварц, халцедон, сидерит, эпигенетический кальцит, а также пирокластический материал [7]. Результаты электронной микроскопии пробы тяжелой (1.6 и более г/см³) фракции угля Новиковского месторождения, энергетический спектр образующих ее элементов, полученный на ЭДС-микроанализаторе, показаны на рис. 3.

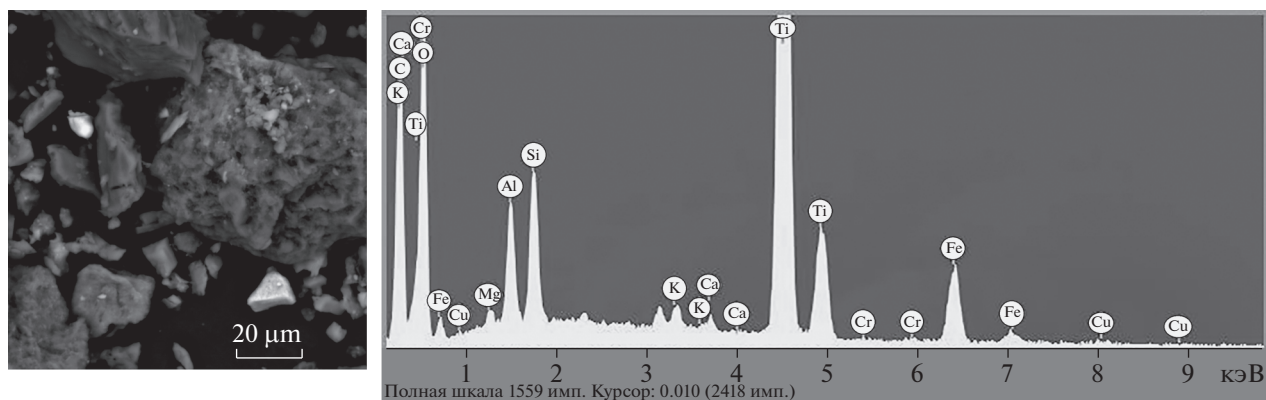


Рис. 3. Электронная микроскопия пробы тяжелой (1.6 и более г/см³) фракции угля Новиковского месторождения и энергетический спектр образующих ее элементов, полученный на ЭДС-микроанализаторе.

Таблица 1. Средние содержания металлов в углях месторождений Сахалина, по данным масс-спектрометрии

Месторождение, количество проб	Среднее содержание металлов в золе/угле, г/т				
	<i>REE</i>	Cs	Rb	Sc	Sr
Новиковское, участок Восточный 1 (11 проб)	383.0/84.3	20.9/4.6	131.6/29.0	26.8/5.9	523.9/115.3
Новиковское, участок Резервный (71 проба)	192.7/28.9	12.8/1.9	90.2/13.5	18.6/2.8	1417.9/212.7
Углегорское (5 проб)	236.1/ 44.7	12.2/2.5	113.0/23.9	29.7/5.7	583.2/108.8
Лопатинское (4 пробы)	228.3/ 57.6	9.2/2.7	129.4/37.0	29.1/7.7	747.3/136.1
Побединская угленосная площадь, Леонидовский участок (5 проб)	222.6/ 64.5	4.3/1.3	57.4/16.9	43.0/12.7	233.4/63.3
Вахрушевское, Лермонтовский разрез-2 (5 проб)	215.1/ 78.1	2.7/1.0	32.5/11.1	36.4/14.7	145.2/47.0
Горнозаводское, поле шахты Горнозаводская (28 проб)	268.9/ 49.3	5.4/1.3	60.1/14.4	27.2/5.4	401.8/61.2
Макаровское (10 проб)	383.8/43.2	2.6/0.3	18.1/2.6	47.3/5.8	1564.6/122.2
Первомайское, участок Лесной (7 проб)	418.8/77.4	6.6/1.6	71.2/18.5	46.3/8.6	5185.4/896.0
Солнцевское, участок Южный (20 проб)	310.4/62.7	6.3/1.8	43.0/11.5	51.0/10.7	692.1/104.3
Тихоновичское (8 проб)	410.6/129.1	8.9/3.4	73.0/30.2	48.9/15.6	1227.3/342.2
Най-Найское (25 проб)	312.2/69.5	8.5/2.2	55.1/ 14.6	32.1/7.7	441.6/96.0

Примечание. Полужирным шрифтом выделены минимальные промышленные концентрации в сравнении с [1].

В соответствии с результатами измерений показателя отражения витринита (ГОСТ 12113-94 и ГОСТ 21489-76) изученные угли относятся к 0, I, I–II, II и II–III стадиям метаморфизма (бурые, длиннопламенные, газовые и газовой-жирные), классам 04, 05, 06, 08, 09. В соответствии с ГОСТ 25543-2013 угли наиболее детально изученного объекта исследований – участков Новиковского месторождения – бурые (марка Б), группа ЗБ, подгруппа ЗБВ (третий бурый витринитовый), кодовый номер углей 0402010.

Средние содержания ценных металлов в углях месторождений и их участков Сахалина, концентрации которых достигают высоких значений, по данным масс-спектрометрии, представлены в табл. 1 (минимальные промышленные концентрации, в сравнении с [1], выделены жирным шрифтом).

Таким образом, практически все изученные на содержание элементов-примесей угольные месторождения Сахалина являются металлоносны-

ми. Их основная специализация – на потенциально промышленные ценные элементы. Это преимущественно Sc, *REE*, Cs, Rb, Sr.

Результаты анализа целого ряда элементов-примесей как в угле, так и в золе углей по участкам Новиковского месторождения представлены в табл. 2. Что касается германия на указанных участках, то при содержании 10 г/т и более в буром угле он уже должен рассматриваться в качестве промышленного [1].

Таким образом, угли участков Новиковского месторождения характеризуются потенциально промышленными концентрациями целого ряда ценных элементов-примесей.

Однако потенциально промышленная специализация углей на ценные металлы разных участков месторождения несколько различается: для участка Восточного 1 – Ge, *REE* (Y), Sc, Cs, Rb, Sr, W, Mo, V, Sb, Cr, а для участка Резервного – Ge, Cs, Rb, Sr, W, V, Sb.

Таблица 2. Содержание в угле или в золе углей ценных элементов-примесей на участках Новиковского месторождения, г/т

Элемент	Участок месторождения (количество проб)	
	Восточный 1 (11)	Резервный (71)
Ge (в угле)	0.3– 11.6 (2.6)	0.20– 14.0 (2.01)
REE (в золе)	172.5– 483.2 (309.8) (без Y)	63.1–245.8 (153.5)
Y (в золе)	37.6– 166.0 (74.9)	10.8–54.8 (29.2)
Sc (в угле)	2.4– 14.9 (6.3)	0.54– 8.1 (2.8)
Ga (в золе)	25.9–38.8 (30.7)	7.2–32.4 (22.8)
Cs (в золе)	5.3–45.4 (16.8)	1.3– 30.7 (12.8)
Rb (в золе)	57.0– 165.0 (120.7)	10.6– 182.0 (90.2)
Sr (в золе)	309– 2660 (911)	251– 12900 (1418)
Zr (в золе)	158–275 (200.8)	51.3–292 (159.2)
Hf (в золе)	5.07–7.9 (5.9)	1.3–7.2 (4.2)
Li (в угле)	2.1–44.2 (12.1)	1.0–23.2 (6.5)
Be (в золе)	3.1–28.7 (10.5)	1.5–13.4 (4.2)
W (в золе)	1.5– 551 (58.6)	1.97– 174 (28.6)
Mo (в золе)	3.8– 715.0 (99.4)	1.5–55.1 (7.4)
Nb (в золе)	8.9–32.5 (19.3)	3.1–20.0 (13.1)
Ta (в золе)	0.7–2 (1.3)	0.2–1.4 (0.9)
V (в золе)	148– 220 (181)	38.9– 302 (152)
Sb (в угле)	0.1– 18.6 (2.7)	0.1– 17.1 (1.0)
Cu (в угле)	3.7–68.7 (31.1)	<1.0–39.1 (9.5)
Zn (в угле)	6.8–43.6 (23)	4.3–43.1 (13.4)
Cr (в угле)	92.4– 7604 (804)	18.1–169 (92.2)
Co (в угле)	1.8–10.1 (3.6)	<0.5–16.1 (3.2)
Ni (в угле)	5.5–222 (56)	2.9–38.8 (10.1)
Pb (в угле)	1.6–11 (6.1)	1.4–80.4 (6.1)
Ag (в угле)	<0.01–0.07 (0.03)	<0.01–0.074 (0.02)

Примечание. В скобках – среднее значение. Полужирным шрифтом выделены минимальные промышленные концентрации в сравнении с [1].

Рационален вопрос об оценке прогнозных ресурсов ценных металлов в углях Сахалина. Пример оценки редкометалльного ресурсного потенциала углей для участков Новиковского месторождения приведен в табл. 3. Оценка выполнена по известным методикам оценки прогнозных ресурсов и критериям выбора их определенной категории.

Соответственно, возможна оценка ресурсного потенциала ценных элементов-примесей в углях и других месторождений Сахалина (с учетом данных табл. 1 и запасов углей).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Все изученные месторождения угля Сахалина являются потенциально промышленно металлоносными в отношении Sc, REE, Cs, Rb, Sr (табл. 1). Наибольшая металлоносность, большее разнообразие ценных элементов-примесей с минимальными промышленными концентрациями характерны для участков германиеносного Новиковского месторождения (табл. 2). Спектр ценных металлов здесь наиболее широкий: Ge, REE (Y), Sc, Cs, Rb, Sr, W, Mo, V, Sb, Cr. Германиеносный потенциал Новиковского месторождения не исчерпан, оценка его прогнозных ресурсов по Ge по участкам (Резервному, Восточному 1 и Южному) составляет 182 т. Кроме того, на месторождении оценены прогнозные ресурсы Sc, REE (в пересчете на оксиды) и некоторых других ценных металлов (табл. 3).

Оценка прогнозных ресурсов ценных металлов возможна и по другим изученным месторождениям углей с использованием усредненных данных по концентрациям элементов (табл. 1). Очевидно, что прогнозный ресурсный потенциал ценных элементов-примесей в углях Сахалина будет весьма крупным из-за наличия значительных запасов углей на месторождениях. Его конкретная количественная и геолого-экономическая оценка – задача дальнейшего изучения.

Таблица 3. Прогнозные ресурсы ценных металлов в углях участков Новиковского месторождения, т

Участок	Запасы угля по категориям A + B + C ₁ , млн т	Прогнозные ресурсы металлов по категории P ₂ , т					
		Sc	Ge	Rb ₂ O	SrO	Cs ₂ O	REE (в оксидах)
Резервный	4.307	10.1	130.9	54.3	741.9	7.4	–
Восточный 1	0.49	2.4	14.9	12.9	–	1.6	40.7
Южный	0.249	–	36.4	–	–	–	–
Всего		12.5	182.2	67.2	741.9	9.0	40.7

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 18-17-00004, <https://rscf.ru/project/18-17-00004/>.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вялов В.И., Наставкин А.В. // ХТТ. 2019. № 5. С. 63. [Solid Fuel Chemistry, 2019, vol. 53, no. 5, p. 314. <https://doi.org/10.3103/S0361521919050112> <https://doi.org/10.1134/S0023117719050116>
2. Вялов В.И., Богомолов А.Х., Шишов Е.П., Чернышев А.А. // Георесурсы. 2017. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 256. <https://doi.org/10.18599/grs.19.25>
3. Arbuzov S.I., Chekryzhov I.Yu., Finkelman R.B., Sun Y.Z., Zhao C.L., Il'enok S.S., Blokhin M.G., Zarubina N.V. // Intern. J. Coal Geology. 2019. V. 206. P. 106. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.10.013>
4. Nechaev V.P., Bechtel A., Dai S., Chekryzhov I.Yu., Pavlyutkin B.I., Vysotskiy S.V., Ignatiev A.V., Velivetskaya T.A., Guo W., Tarasenko I.A., Nechaeva E.V., French D., Hower J.C. // Appl. Geochem. 2020. V. 117. 104602. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2020.104602>
5. Петрография углей СССР. Вещественно-петрографический состав угольных пластов и качество углей основных бассейнов СССР. Л.: Недра, 1986. С. 222.
6. Вялов В.И., Олейникова Г.А., Наставкин А.В. // ХТТ. 2020. № 3. С. 42. [Solid Fuel Chemistry, 2020, vol. 54, no. 3, p. 163. <https://doi.org/10.3103/S0361521920030118> <https://doi.org/10.31857/S0023117720030111>
7. Петрологический атлас ископаемого органического вещества России // Гл. редактор О.В. Петров. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. С. 205.