

УДК 549.07:550.8:622.41

КВАРЦ-УГЛЕРОДИСТЫЕ МЕТАСОМАТИТЫ ВОСТОЧНОГО ДОНБАССА – ВЫСОКОДИСПЕРСНЫЕ РУДЫ ЦВЕТНЫХ, РЕДКИХ И БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ

© 2014 г. В.Н. Труфанов, И.В. Рыбин, М.И. Гамов, А.В. Труфанов

Труфанов Вячеслав Николаевич – доктор геолого-минералогических наук, профессор, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: trufanov_v37@mail.ru.

Trufanov Vyacheslav Nikolaevich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Professor, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: trufanov_v37@mail.ru.

Рыбин Илья Валерьевич – аспирант, инженер, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: iliaribin@mail.ru.

Rybin Ilya Valerievich – Post-Graduate Student, Engineer, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: iliaribin@mail.ru.

Гамов Михаил Иванович – доктор геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: kpirgu@mail.ru.

Gamov Mikhail Ivanovich – Doctor of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor, Head of Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: kpirgu@mail.ru.

Труфанов Алексей Вячеславович – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, кафедра месторождений полезных ископаемых, геолого-географический факультет, Южный федеральный университет, ул. Зорге, 40, г. Ростов н/Д, 344090, e-mail: SMAF2007@mail.ru.

Trufanov Aleksey Vyacheslavovich – Candidate of Geological and Mineralogical Science, Associate Professor, Mineral Deposits Department, Geology-Geography Faculty, Southern Federal University, Zorge St., 40, Rostov-on-Don, 344090, Russia, e-mail: SMAF2007@mail.ru.

Рассмотрены геолого-структурные, минералого-петрографические и термобарогеохимические особенности высокодисперсных руд цветных, редких и благородных металлов, генетически связанных с кварц-углеродистыми метасоматитами Восточного Донбасса, а также результаты автоклавного выщелачивания из них элементов-примесей.

Ключевые слова: Восточный Донбасс, кварц-углеродистые метасоматиты, высокодисперсные руды, условия формирования, автоклавное извлечение элементов-примесей.

Geology-structural, mineralogy-petrographic and thermobarogeochemic features of nonferrous ores and precious metals genetically assigned with quartz-carbonaceous metasomatites of Eastern Donbass, as well as with the results of autoclave leaching of elements-admixtures present in them have been considered in the paper.

Keywords: Eastern Donbass, quartz-carbonaceous metasomatites, highly dispersed ores, conditions of formation, autoclave leaching of elements-admixtures.

Среди актуальных научно-технических проблем, сложившихся к началу XXI в., одно из важнейших мест принадлежит проблеме воспроизводства минерально-сырьевых ресурсов недр, в том числе в результате комплексного использования новых и нетрадиционных видов полезных ископаемых. К их числу относятся кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса, представленные фтанитами, кварцолитами, лидитами и кварц-карбонатными гидротермалитами.

В значительном количестве (десятки тысяч тонн) они являются продуктами обогащения углей на Шолоховском и Гуковском горно-обогатительных комбинатах, но до настоящего времени практически не используются. Известно только, что фтаниты и лидиты в ограниченных объемах применяются в качестве пробирного камня.

Вместе с тем полученные нами новые данные показывают, что сфера их применения может

быть существенно расширена как нетрадиционного вида минерального сырья для получения цветных, редких и благородных металлов, а также для изготовления кварц-углеродной керамики, хрустальной посуды, пьезооптического кварца и синтеза горного хрусталя. Эти данные обобщаются в представленной статье.

Проведенные комплексные геолого-структурные, минералого-петрографические и термобарогеохимические исследования этих специфических природных объектов показали, что они приурочены к зонам углеводородной флюидизации угольно-породных массивов пяти структурно-генетических типов [1–3]:

1) зоны флюидизации в глубинных разломах северо-западного простирания, связанных с инверсионным этапом развития Донецкого авлакогена;

2) зоны флюидизации в приразрывных складках надвигов, приуроченные к резким подворотам слоев у поверхности сместителя;

3) зоны флюидизации в пластовых нарушениях пологого или пологосекущего сдвига;

4) зоны флюидизации, связанные с флексуобразными нарушениями угольных пластов и вмещающих пород;

5) зоны флюидизации, приуроченные к эпигенетическим песчаникам размыва в непосредственной кровле угольного пласта.

В отмеченных зонах интенсивно развивались процессы кремнезем-углеводородного метасоматоза под воздействием на вмещающие породы и угольные пласты глубинных, внутрикоровых и гидрогенных флюидов сложного состава в широком диапазоне термодинамических параметров, в результате которых произошли накопление и перераспределение промышленно важных элементов-примесей. Наибольший интерес представляют цветные, редкие и благородные металлы, общее содержание которых достигает во фтанитах – 7431 г/т, в кварцолитах – 2653, в лидитах – 747, в гидротермалитах – 6602 г/т. В продуктах обогащения этих пород концентрации ценных элементов-примесей (медь, свинец, цинк, титан, вольфрам, молибден, серебро и др.) значительно превышают кларковые и достигают промышленных кондиций, т.е. они являются нетрадиционными высокодисперсными рудами, специфической особенностью которых является

тонкодисперсная форма нахождения в кварц-сульфидном субстрате и в виде металлоорганических соединений в угольном веществе (таблица).

Как показали проведенные исследования в Миллеровском, Тацинском, Краснодонском и Сулино-Садкинском углепромышленных районах (шахты Ждановская № 5, Штеровская, Краснодонская № 17 и др.), отмеченные зоны флюидизации имеют сложное многоярусное строение, в котором выделяются очаг флюидизации (40–50 м), зона уплотненного науглероженного слабопроницаемого угля – зона бронирования (60–80 м), зона брекчиевидного нарушенного угля (+200–300 м), переходящая в зону спокойного угля (рис. 1).

В зоне 1 преимущественно развиты кварцолиты, в зоне 2 – фтаниты, в зоне 3 – гидротермалиты, в зоне 4 – лидиты, локализующиеся в кровле угольных пластов.

Фтаниты макроскопически представляют собой брекчиевидные разнозернистые и порфириобластовые породы светло-серого и зеленовато-серого цвета, сложенные на 40–50 % минералами кремнезема, 10–20 % углеродистым веществом, на 30–40 % биотитом и гидрослюдами и рудными минералами (окислы и гидроокислы железа и марганца, сульфиды железа, свинца, цинка, меди, молибдена и вольфрама, серебро и золото). Преимущественно это пластообразные и линзовидные тела простой конфигурации, развивающиеся по алевролитам и алевропесчаникам.

Под микроскопом структура неравномерно-зернистая, регенерационная, гнездовидная, местами идиоморфно-кристаллическая (рис. 2а).

Кварцолиты макроскопически представляют собой светлые кварцитовидные породы с тонкослоистой текстурой и раковистым изломом, образующие линзовидные тела и блоки сложной конфигурации, именуемые шахтерами «кобылами». Под микроскопом структура стеблевидная, плейчатая, мелко-среднезернистая, местами гранобластовая и микродрузовая. В составе присутствуют минералы кремнезема (до 90–95 %), пироксены и амфиболы, эпидот, гранаты, полевые шпаты, рудные минералы – магнетит, ильменит, вольфрамит, повелит. Углеродистое вещество представлено графитизированным углем и инертинитом (рис. 2б).

**Результаты приближенно-количественного спектрального анализа
кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса**

Элементы	Проба							
	№ 10		№ 116		№ 12в		№ 12д	
	%	г/т	%	г/т	%	г/т	%	г/т
Si	(>1)	(>10000)	(>1)	(>10000)	(>0,755)	(>7550)	(>0,832)	(>8320)
Al	(>1)	(>10000)	(>1)	(>10000)	[0,0453]	[453]	(>0,832)	(>8320)
Mg	(>1)	(>10000)	(>1)	(>10000)	[0,0755]	[755]	(>0,832)	(>8320)
Ca	[1]	[10000]	[0,3]	[3000]	[0,1133]	[1133]	[0,2496]	[2496]
Fe	(>1)	(>10000)	(>1)	(>10000)	(>0,755)	(>7550)	(>0,832)	(>8320)
Mn	[0,07]	[700]	[0,04]	[400]	[0,0302]	[302]	[0,0416]	[416]
Ni	[0,0015]	[15]	[0,004]	[40]	[0,0005]	[5]	[0,0042]	[42]
Co	[0,0006]	[6]	[0,001]	[10]	[0,0002]	[2]	[0,0008]	[8]
Ti	[0,4]	[4000]	(0,5)	(5000)	[0,0045]	[45]	[0,1248]	[1248]
V	(0,01)	(100)	(0,01)	(100)	[<0,0004]	[<4]	[0,008]	[80]
Cr	[0,008]	[80]	[0,015]	[150]	[0,0015]	[15]	[0,0048]	[48]
Mo	[<0,0001]	[<1]	[0,0001]	[1]	[<0,0001]	[<1]	(0,0002)	(2)
W	(<0,003)	(<30)	(<0,003)	(<30)	(<0,0023)	(<23)	(<0,0025)	(<25)
Zr	(0,1)	(1000)	(0,04)	(400)	[<0,0008]	[<8]	[0,005]	[50]
Nb	[0,0008]	[8]	[0,0004]	[4]	[<0,0002]	[<2]	[0,0003]	[3]
Cu	[0,002]	[20]	[0,0006]	[6]	(0,0076)	(76)	(0,005)	(50)
Pb	[0,0005]	[5]	(0,002)	(20)	[0,0004]	[4]	(0,0126)	(126)
Ag	(0,00001)	(0,1)	(<0,00001)	(<0,1)	(<0,00001)	(<0,1)	(0,00005)	(0,5)
Sb	(<0,003)	(<30)	(<0,003)	(<30)	(<0,0023)	(<23)	(<0,0025)	(<25)
Bi	(<0,0002)	(<2)	(<0,0002)	(<2)	(0,0023)	(23)	(0,0003)	(3)
As	(<0,03)	(<300)	(<0,03)	(<300)	(<0,0227)	(<227)	(<0,025)	(<250)
Zn	(0,015)	(150)	(0,01)	(100)	[<0,0023]	[<23]	0,0083	83
Cd	(<0,001)	(<10)	(<0,001)	(<10)	(<0,0008)	(<8)	(<0,0008)	(<8)
Sn	(0,0003)	(3)	(0,0006)	(6)	(0,0003)	(3)	(0,0003)	(3)
Ge	[0,0001]	[1]	[0,0001]	[1]	[<0,0001]	[<1]	(0,0002)	(2)
Ga	[0,0006]	[6]	[0,001]	[10]	[<0,0001]	[<1]	[0,0006]	[6]
Be	[0,0003]	[3]	[0,0003]	[3]	[0,00003]	[0,3]	[0,0002]	[2]
Sc	[0,0008]	[8]	[0,0008]	[8]	[<0,0001]	[<1]	[0,0006]	[6]
Y	(0,004)	(40)	[0,0015]	[15]	[<0,0001]	[<1]	[0,0006]	[6]
Yb	(0,0004)	(4)	(0,0003)	(3)	(0,0001)	(1)	(0,0002)	(2)
P	(0,1)	(1000)	(<0,1)	(<1000)	[<0,0755]	[<755]	[<0,0832]	[<832]
Li	[<0,003]	[<30]	[0,003]	[30]	[<0,0023]	[<23]	(0,0042)	(42)
Sr	[0,015]	[150]	[0,015]	[150]	[0,0015]	[15]	[0,0033]	[33]
Ba	[0,06]	[600]	[0,05]	[500]	[<0,0227]	[<227]	[0,05]	[500]

Примечание. № 10 – гидротермалит; № 116 – фтанит; № 12в – лидит; № 12д – кварцолит. [0,01] – содержания элементов в породе ниже значений кларка по Виноградову (1962 г.); (0,15) – содержания элементов в породе выше значений кларка по Виноградову (1962 г.); 0,001 – содержания элементов в породе равны значениям кларка по Виноградову (1962 г.).

Кварц-карбонатные гидротермалиты образуют жильные тела, прожилки, штокверки, сложенные на 80–90 % кварцем, карбонатами кальция, железа и марганца с вкрапленностью сульфидных рудных минералов (пирит, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит и др.) (рис. 2в). Под микроскопом структура среднезернистая, панидоморфная, микродрузовая. По сути это типичные кварц-полиметаллические метасомати-

титы – продукты гидротермального литогенеза осадочных пород.

Лидиты отличаются темной окраской, микрозернистой структурой, плотным однородным сложением (пробирные камни) (рис. 2г). Сложены халцедоновидным кварцем, опалом (20–30 %), семифюзенитом и спикулами губок. Рудные минералы представлены марказитом, фрамбоидальным пиритом, гидроокислами железа.

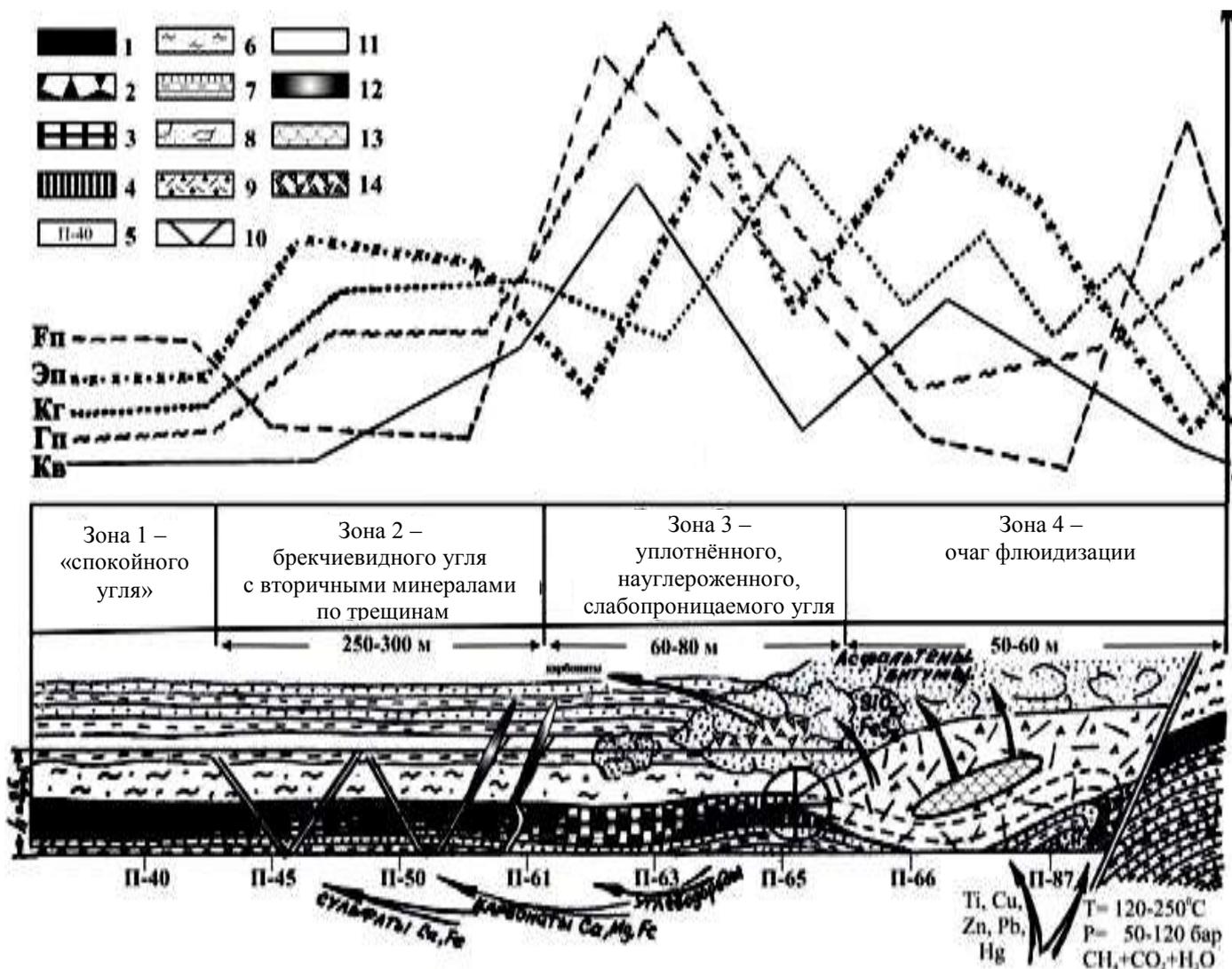
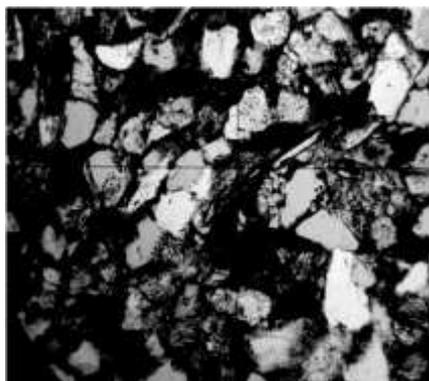
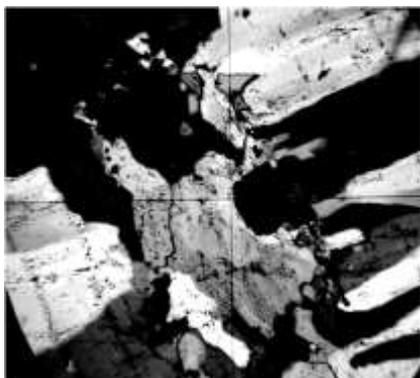


Рис. 1. Принципиальная схема строения и формирования флюидоактивной зоны в угольном пласте (по В.Н. Труфанову, М.И. Гамову и др., 2004 [1]): 1–4 – уголь спокойный; брекчиевидный; линзовидно-полосчатый; милонитизированный; 5 – номера пакетов; 6 – аргиллиты; 7 – алевролиты; 8 – песчаники; 9 – расштыбованный уголь в очаге флюидизации; 10 – тектонические нарушения; 11 – лидит; 12 – гидротермалит; 13 – силицит; 14 – фтанит; Фп – показатель флюидоактивности; Эп – электрополяризационный показатель; Гп – геохимический показатель $\left(\frac{\text{Cu} \cdot \text{Pb} \cdot \text{Zn} \cdot \text{Ti}}{\text{Be} \cdot \text{Ge} \cdot \text{Mo} \cdot \text{V}} \right)$;

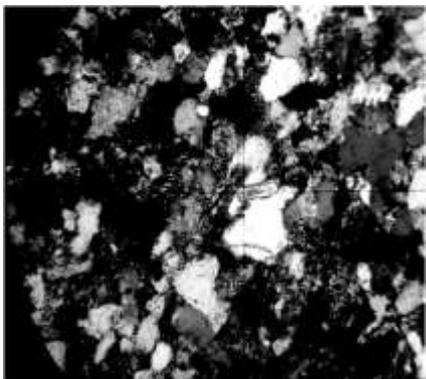
Кв – показатель восстановленности флюидов $\left(\frac{\Sigma_{\text{восстановленных газов}}}{\Sigma_{\text{окисленных газов}}} \right)$; Кг – коэффициент газоносности $\left(\frac{\Sigma_{\text{газов}}}{\text{H}_2\text{O}} \right)$



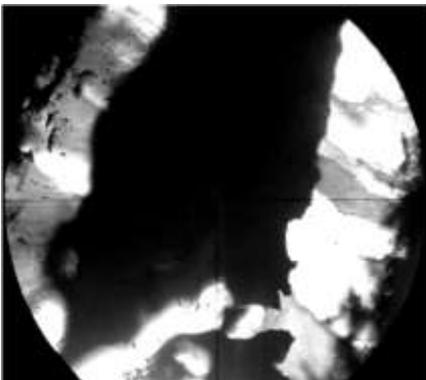
а



б



в



г

Рис. 2. а – фтанит (николи +; d = 1 мм); б – кварцолит (николи +; d = 1 мм); в – гидротермалит (николи +; d = 1 мм); г – лидит (николи +; d = 0,2 мм)

Проведенные комплексные термобарогеохимические исследования показали, что кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса сформировались в широком диапазоне температур от 80–120 до 450–500 °С при давлениях от 5–6 до 150–200 МПа в результате воздействия на углевмещающие породы высококонцентрированных восстановленных и окисленных флюидов. В кварцолитах установлены уникальные кристалло-флюидные и многофазовые включения с температурами декриптации (Тд) 380–520 °С и давлениями 150–200 МПа, во фтанитах – многофазовые и углеводородные включения с Тд 350–400 °С и давлениях 80–120 МПа, в гидротермалитах – углекислотно-водные включения с Тд 280–450 °С при давлениях 50–70 МПа, в лидитах – газовой-жидкие и битумные включения с Тд до 200 °С при давлениях 5–6 МПа. В составе флюидов обнаружены H₂O, CO₂, азот, метан, тяжелые углеводороды.

Таким образом, изученные кварц-углеродистые метасоматиты образуют единый генетический ряд, крайними членами которого являются кварцолиты и лидиты, а промежуточное положение занимают фтаниты и кварц-карбонатные гидротермалиты (рис. 3).

Они образовались в прогрессивный (фтаниты), экстремальный (кварцолиты) и регрессивный

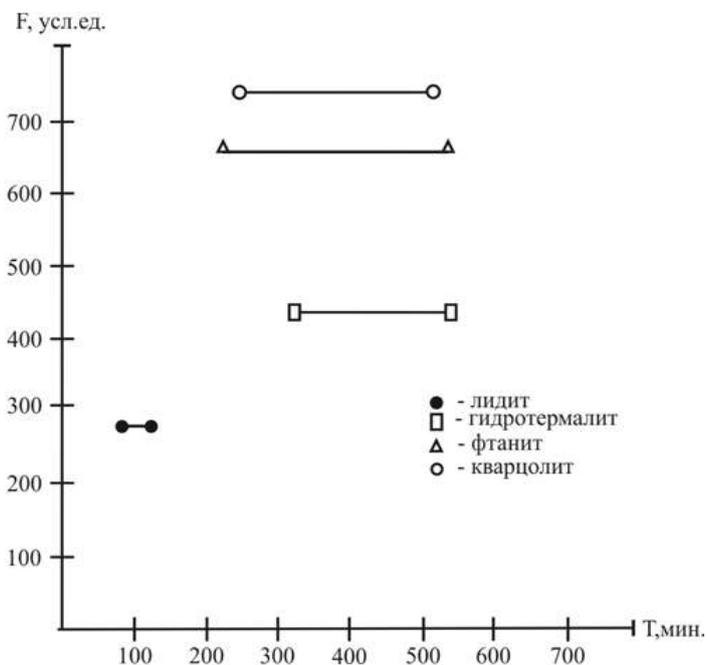


Рис. 3. Диаграмма зависимости между температурами минералообразования и F-показателем флюидоактивности кварц-углеродистых метасоматитов Восточного Донбасса

(гидротермалиты и лидиты) этапы минерало-рудообразующих процессов углеводородной флюидизации горно-породных массивов при отмеченных выше физико-химических параметрах.

При этом происходило перераспределение и обогащение метасоматитов промышленно важными элементами-примесями, что находится в полном соответствии с представлениями П.Ф. Иванкина и Н.И. Назаровой [4] о процессах глубинной дегазации земной коры и их роли в рудообразовании.

Эксперименты по извлечению рудогенных элементов, проведенные нами на автоклавной установке БАР-1 [5] в стационарном режиме, в режиме «обратного» взрыва и дросселирования показали, что в зависимости от конкретных РТ-условий при использовании в качестве активного агента только чистой воды происходит выщелачивание от 25 до 65 % исходного содержания цветных, редких и благородных металлов (рис. 4). Несомненно, что в случае применения более активных агентов эти результаты могут быть существенно улучшены.

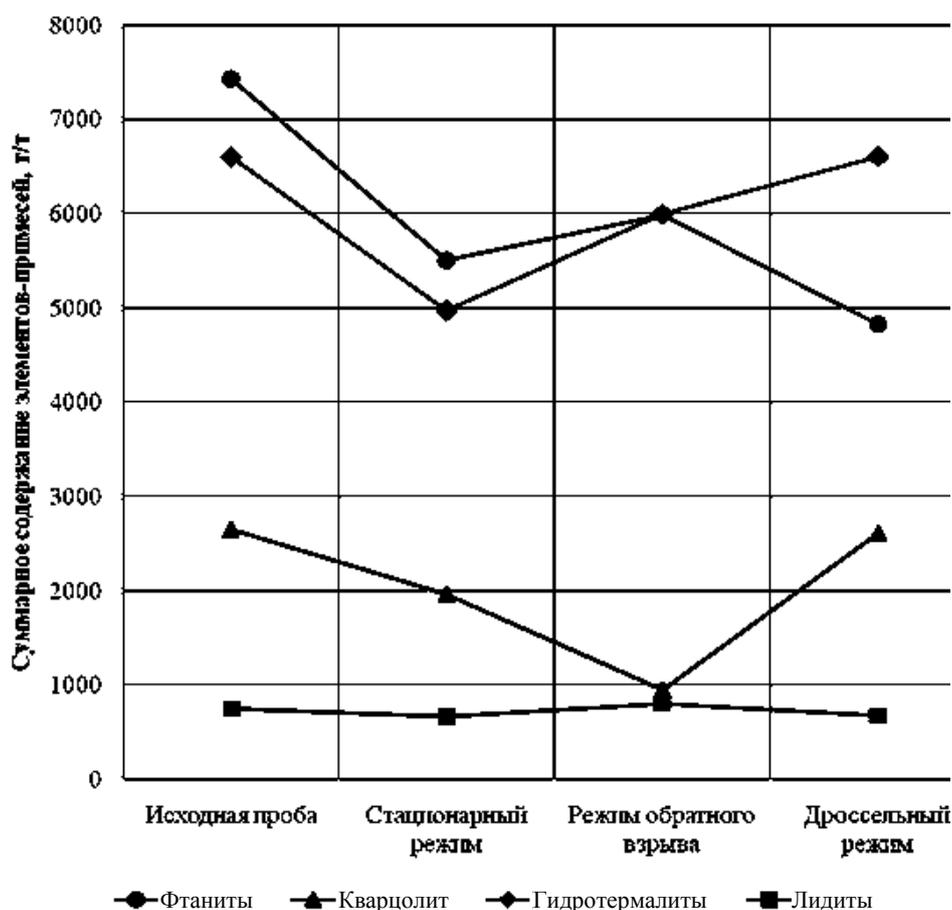
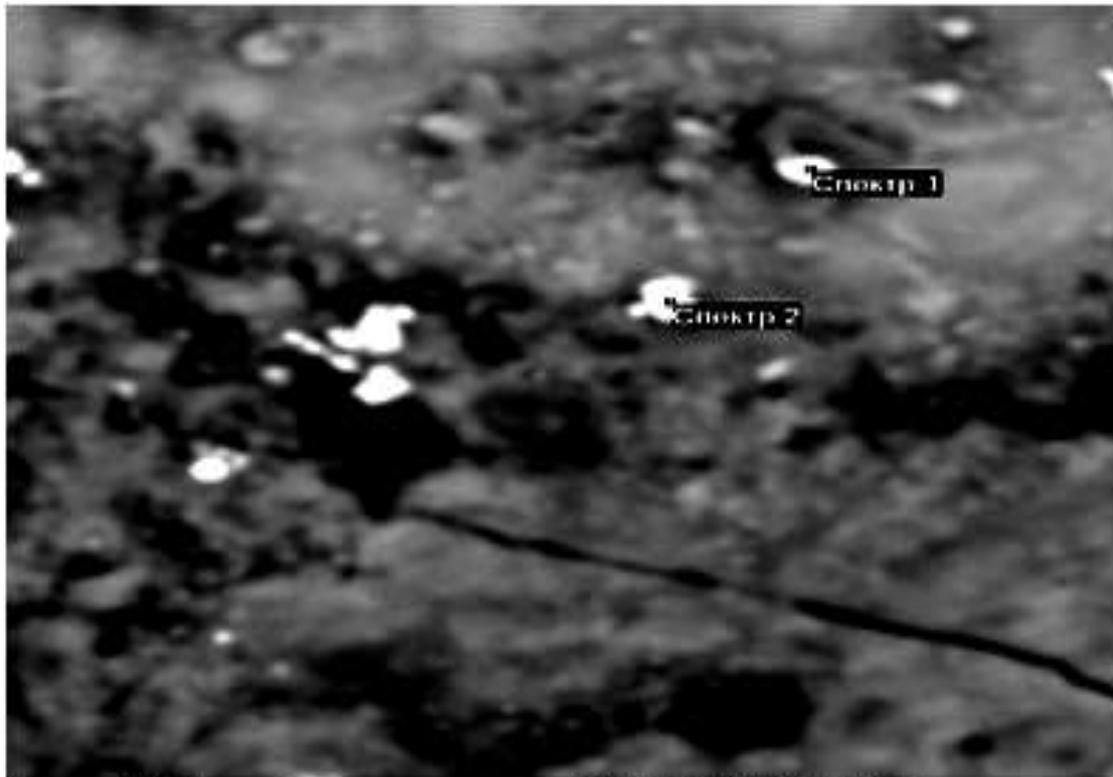


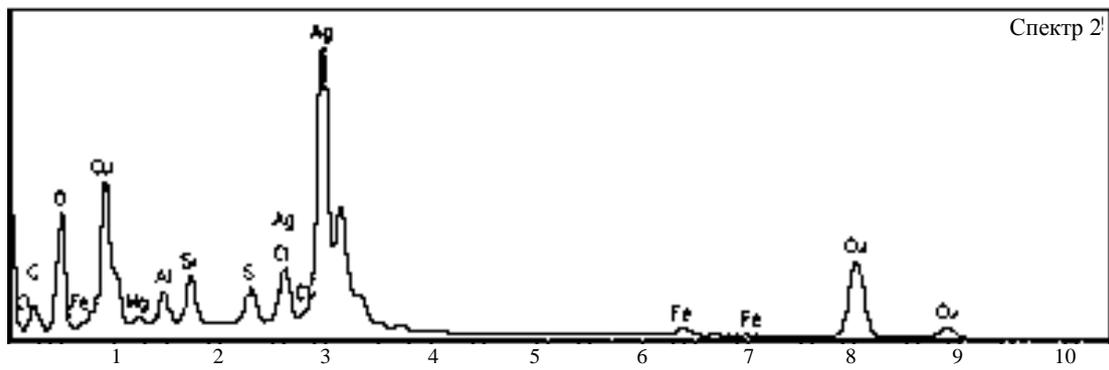
Рис. 4. Диаграмма зависимости общего содержания элементов-примесей в кварц-углеродистых метасоматитах от режима автоклавной обработки

Следует также отметить, что рудогенные элементы-примеси в процессе автоклавной переработки кварц-углеродистых метасоматитов откладываются на дроссельных мембранах в виде самородных элементов и хорошо выраженных монокристаллов, что обеспечивает их прямое получение из исходных материалов. Кварц-угле-

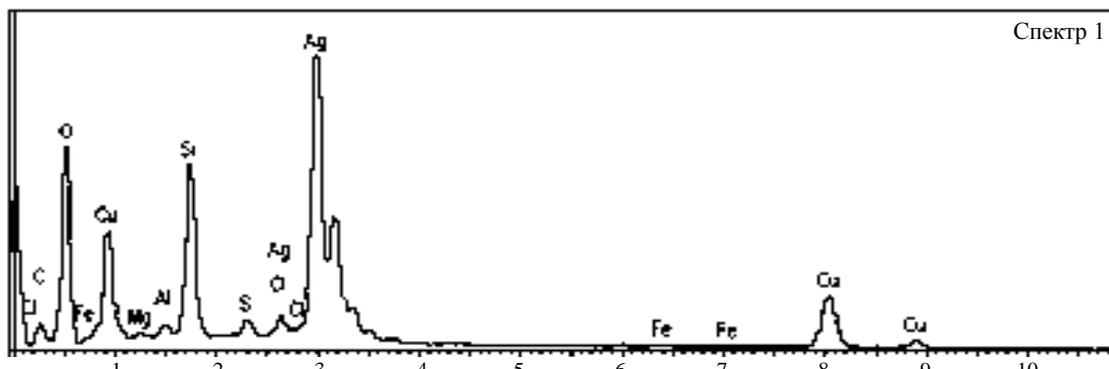
родистые продукты диспергации образуют при этом тонкодисперсные наноагрегаты с гранулярной и скелетной структурой. Есть все основания полагать, что такие нанодисперсные материалы будут обладать уникальными технологическими свойствами (рис. 5).



10 мкм



Полная шкала 12450 имп. Курсор 0,044 (6573 имп)



Полная шкала 15476 имп. Курсор 0,016 (7599 имп)

Рис. 5. Серебро на мембране в виде минеральных скоплений после обработки гидротермалита при режиме дросселирования (электронный снимок)

Таким образом, кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса являются уникальными природными объектами, сформировавшимися в зонах углеводородной флюидизации угольно-породных массивов Восточного Донбасса в широком диапазоне термодинамических параметров. Они содержат высокие концентрации промышленно важных элементов-примесей, автоклавное извлечение которых представляет несомненный практический интерес. Необходима постановка специальных прогнозно-поисковых работ на этот нетрадиционный вид минерального сырья, а также продолжение исследований по его глубокой переработке автоклавными методами.

Литература

1. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Рылов В.Г., Майский Ю.Г., Труфанов А.В. Углеводородная флюидизация ископаемых углей Восточного Донбасса. Ростов н/Д., 2004. 270 с.
2. Труфанов В.Н., Рыбин И.В., Гамов М.И., Труфанов А.В. Кварц-углеродистые метасоматиты Восточного Донбасса как нетрадиционный вид минерального сырья : материалы XIII Всерос. угольн. совещ. 22–25 апреля. Ростов н/Д, 2014.
3. Труфанов В.Н., Гамов М.И., Прокопов Н.С., Майский Ю.Г., Труфанов А.В., Рыбин И.В., Цицуашвили Р.А. Теоретические и методические основы исследований фазовых переходов и процессов деструкции систем «минерал–порода–флюид» // Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион. Естеств. науки. 2012. № 4. С. 102–107.

4. Иванкин П.Ф., Назарова Н.И. Глубинная дегазация земной коры и ее роль в петрорудогенезе, соли и нефтеобразовании. М., 2001. 280 с.

5. А.с. № 926046 от 07.01.1982. Автоклавная установка для переработки минерального сырья.

References

1. Trufanov V.N., Gamov M.I., Rylov V.G., Maiskii Yu.G., Trufanov A.V. Uglevodородnaia fluidizatsiia iskopaemykh uglei Vostochnogo Donbassa [Hydrocarbon fluidization coals of the Eastern Donbass]. Rostov n/D., 2004. 270 s.
2. Trufanov V.N., Rybin I.V., Gamov M.I., Trufanov A.V. Kvarts-uglerodistye metasomatity Vostochnogo Donbassa kak netraditsionnyi vid mineral'nogo syr'ia [Quartz-carbon metasomatic rocks of the Eastern Donbass as an unconventional type of mineral raw materials] : materialy XIII Vseros. ugol'n. soveshch. 22–25 apreliia. Rostov n/D., 2014.
3. Trufanov V.N., Gamov M.I., Prokopov N.S., Maiskii Yu.G., Trufanov A.V., Rybin I.V., Tsitsuashvili R.A. Teoreticheskie i metodicheskie osnovy issledovaniia fazovykh perekhodov i protsessov destrukttsii sistem «mineral – poroda – fluid» [Theoretical and methodological basis of studies of phase transitions and processes of destruction systems «mineral – rock – fluid»] // Izv. vuzov. Sev.-Kavk. region. Estestv. nauki. 2012. № 4. S. 102–107.
4. Ivankin P.F., Nazarova N.I. Glubinnaia degazatsiia zemnoi kory i ee rol' v petrorudogeneze, soli i nefteobrazovanii [Deep degassing of the earth's crust and its role in petrorudogenesis, salt and oil generation]. M., 2001. 280 s.
5. A.s. № 926046 ot 07.01.1982. Avtoklavnaia ustanovka dlia pererabotki mineral'nogo syr'ia [Autoclave system for mineral processing].