



УДК 553.2:546.59:550.4

© 2008

Е. Е. Лазаренко, В. И. Блажко, Ю. А. Фомин

Термобарогеохимическая характеристика некоторых золотоносных участков центральной части Украинского щита

(Представлено академиком НАН Украины Е. А. Кулишом)

The results of thermobarogeochemical investigations of epigenetic quartz and host rocks of some gold-bearing districts in the Central Part of the Ukrainian Shield are presented. The process of gold-quartz-sulfide zone formation was hydrothermal by nature and passed in the temperature interval 455–120 °C under conditions of the pressure downfall – 0.8–0.3 kbar. The most real temperature of the quartz deposit was probably 420–320 °C.

В настоящем сообщении отражены результаты термобарогеохимического исследования вмещающих пород и эпигенетического кварца потенциально золотоносных участков: Хмелевского, Липняжского, Дубиновского и Савранского, имеющих разное геоструктурное положение в пределах пограничной полосы Кировоградского и Белоцерковского геоблоков. При всей специфике процессов (гранитизация, микроклинизация, скарнирование) породы относятся к единому литолого-стратиграфическому уровню, а именно: к исходно кристаллосланцево-гнейсовым горизонтам, обогащенным графитом и сульфидами, в составе бугской серии нижнепротерозойского возраста [1].

На всех участках повышенная золотоносность (0,1–0,3 г/т, по нашим данным) связана с зонами кварц-сульфидной минерализации, вероятно, тектоногенной природы. Зоны имеют сложную морфологию штокверкового типа с широким развитием разнообразных жил, прожилков и гнезд кварца и прожилково-вкрапленных сульфидов: пирита, пирротина, халькопирита, реже сфалерита и арсенопирита. Минерализация наложена как на метаморфические и ультраметаморфические вмещающие породы, так и на упомянутые выше метасоматические образования, в частности микроклиниты и скарны (скарноиды). Типичным примером таких зон может служить штокверк Липняжского участка (рис. 1), дискордантный относительно гнейсов и амфиболитов вмещающей толщи.

Эпигенетический кварц изученных проявлений заметно отличается от более ранних его генераций, прежде всего, высокой реакционной активностью с выходом за пределы структурной основы и соответствующей перекристаллизацией минералов эдукта. В зависимости

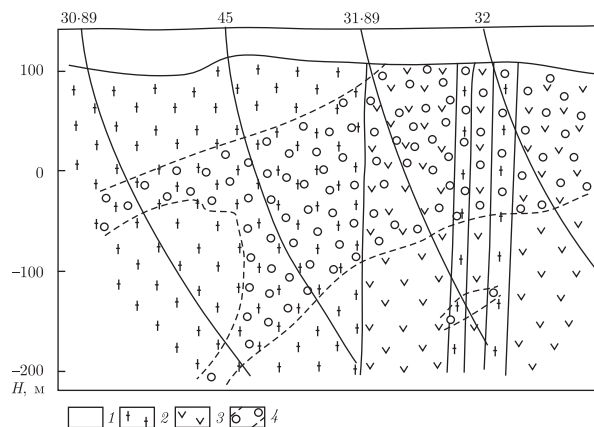


Рис. 1. Схематический геологический разрез золотосодержащей зоны окварцевания Липняжского участка (составлен по материалам ГПП “Кировгеология”):

1 — отложения чехла; 2 — гнейсы биотитовые с графитом и сульфидами каменно-костоватской свиты; 3 — амфиболиты рощаховской свиты; 4 — ореол окварцевания с сульфидной минерализацией

от состава пород эти минералы представлены как реликтами темноцветных составляющих, полевых шпатов, граната, так и включениями рекристаллизованного биотита, вкрапленностью индивидуализированных сульфидов и карбоната, а также метакристаллами эпидота, сфена, турмалина. Кварц, как правило, образует крупнокристаллические выделения неправильной формы, катаклазирован (волнистое и блоковое угасание) и обнаруживает постепенные переходы от светлого и полупрозрачного до серого, темно-серого и смоляно-черного. По этим характеристикам, включая и околожильную рекристаллизацию биотита, главный жильный минерал аналогичен кварцу позднего (рудного) акта Восточно-Юрьевского месторождения золота [2].

Наряду с термобарогеохимическим исследованием флюидных включений, в эпигенетическом кварце и вмещающих породах изучен компонентный состав минералообразующих флюидов.

Газовой хроматографией определялось содержание CO, CO₂, CH₄, C₂H₆, H₂S, в водных вытяжках — количество хлор- и фтор-ионов, а также хлорид- и фторид-ионов, связанных с углеводородными комплексами (табл. 1). Кроме этого, фиксировалось присутствие во флюиде аминокислот (качественный анализ) [3].

Хмелевской участок. Изучен керн, отобранный в интервале глубин 360–580 м (скв. 71/88 и 88/88). Термобарогеохимические исследования показали, что интенсивное окварцевание пород (амфиболитов, гнейсов и гранитной лейкосомы) происходило при минимальных температурах 360–260 °С с участием углекисло-водно-солевых растворов. Растворы содержат хлор-ион в количестве $(5,0-26,5) \cdot 10^{-6}$ г/г навески (при отсутствии фтор-иона), среди галоидных углеводородов преобладают хлоросодержащие $((4,8-75,0) \cdot 10^{-6}$ г/г навески), в меньшей мере — фторосодержащие $((12-30) \cdot 10^{-6}$ г/г навески). В пробах 5 и 6 установлены высокие значения CO (65,2 и 22,85 мл/кг породы соответственно) и CO₂ (336,32 и 685,65 мл/кг породы соответственно). В остальных пробах содержание этих компонентов существенно ниже: CO 3,0–12,9; CO₂ 5,9–70,4 мл/кг породы, соотношение CO₂ : CO изменяется от 2,0 до 14,7. Только в амфиболите (обр. 4) оксид углерода преобладает над диоксидом — CO₂ : CO = 0,4. В этом же образце отсутствуют хлорфтороуглеводородные соединения. Для сравнения: в окварцованных амфиболитах (обр. 1, 5) это соотношение

Таблица 1. Содержание некоторых флюидных компонентов в минералообразующих растворах

Номер п/п	Скважина/ год	Глубина, м	$n \cdot 10^{-6}$, г/г навески			Содержание газов, мл/кг породы				
			Cl ⁻	Cl-УВ	F-УВ	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	H ₂ S
Хмелевской участок										
1	88/88	337	5	—	—	4,39	29,49	0,58	0,02	0,41
2	То же	364	5	4,8	—	11,29	22,59	0,06	0,09	0,64
3	“	419	26,5	—	12	—	—	—	—	—
4	“	464	—	—	—	12,92	5,89	0,04	0,03	0,05
5	“	478	5	21,5	—	65,20	685,65	0,21	0,05	0,06
6	“	480	9	75	30	22,85	336,32	1,08	0,53	0,3
7	“	499	5	43	—	4,83	19,84	0,05	0,05	0,59
8	“	662	12	5	—	3,96	10,17	0,11	0,04	0,08
9	71/88	345	18	—	27	3,00	19,46	2,05	0,05	—
10	То же	542	14	—	—	3,79	7,40	1,16	0,17	0,08
11	“	563	5	56,5	—	7,41	70,30	0,29	0,16	1,63
12	“	583	9	—	—	6,78	23,56	0,14	—	1,60
Липняжский участок										
13	31/89	161	10,6	—	19	4,43	11,68	0,17	0,03	0,19
14	То же	175	18	—	37	4,20	18,48	0,54	0,11	0,07
15	“	190	18	35	—	3,85	13,19	0,16	0,05	1,39
16	“	195	18	26,5	—	3,21	41,26	0,87	0,02	4,71
17	30/89	283	9	—	22	7,44	5,94	0,19	0,02	0,03
18	То же	301	18	—	—	9,19	58,39	0,29	0,03	0,55
19	“	353	12	9	—	4,91	9,18	0,28	0,06	0,22
20	“	365	5	35	—	8,39	11,68	0,32	0,14	5,39
Дубиновский участок										
21	6305	49	—	9	—	25,85	688,13	0,06	0,04	0,04
22	То же	62	18	—	55,5	3,16	44,56	0,77	0,09	0,03
23	“	66	14	9	—	3,70	25,23	0,45	0,05	0,38
24	“	69	9	—	30	7,75	290,51	0,70	0,09	—
25	“	123	5	5	22	14,03	328,10	0,09	—	—
26	“	150	—	—	30	20,00	374,50	0,26	0,05	—
27	“	156	—	—	—	3,06	8,70	0,13	0,06	—
28	“	174	9	—	46,5	4,80	10,04	0,08	0,04	—
29	“	215	9	—	—	18,48	442,08	0,35	0,04	0,03
Савранский участок										
30	6354	185	3,5	—	—	10,38	138,83	0,03	0,07	—
31	То же	186	5	—	33	15,78	31,48	0,09	0,06	—
32	“	248	26,5	—	—	9,84	12,02	0,16	0,07	0,02
33	“	261,5	50	—	24,7	16,82	65,96	0,02	0,27	—
34	“	279	35	—	—	7,83	30,07	0,17	0,12	0,85
35	“	289	48	—	—	15,20	8,51	0,09	0,04	0,03
36	“	335,5	35	—	—	6,32	35,34	0,05	0,01	—

Примечание. *Хмелевской участок*: 4 — амфиболит; 1, 5 — то же, окварцованный; 2 — диопсидовая порода; 3, 6 — гранит аплит-пегматоидный; 9, 10 — то же, окварцованный; 7, 8, 11, 12 — гнейс окварцованный; *Липняжский участок*: 13, 15 — амфиболит окварцованный; 14, 17 — гнейс амфиболовый; 18, 19 — гнейс биотитовый; 16 — сланец кварц-биотитовый (гнейс окварцованный); 20 — гнейс двуслюдяной (окварцованный). *Дубиновский участок*: 27 — гранит мелкозернистый; 23 — то же, окварцованный (кварц-полевошпатовая порода); 21, 25, 26, 29 — скарноид гранат-пироксеновый; 22, 24, 28 — кварц эпигенетический; *Савранский участок*: 30 — кварц эпигенетический; 31, 33 — гранит окварцованный; 34, 36 — гранит; 32 — пегматит; 35 — мигматит.

равно 6,7; 10,5. Углеводороды и сероводород образуют постоянную примесь: CH_4 0,04–2,05; C_2H_6 0,02–0,53; H_2S 0,05–1,63 мл/кг породы. По химическому составу минералообразующих растворов Хмелевской участок близок Юрьевскому [2].

Липняжский участок. Исследованы амфиболиты и гнейсы в интервалах глубин от 161 до 195 м (скв. 31/89) и от 282 до 365 м (скв. 30/89). Породы испытали наложенное окварцевание в виде жилок, гнезд и линзовидных скоплений кварца, иногда с сульфидами. В биотитовом гнейсе (обр. 19) отмечаются метакристаллы турмалина. В новообразованиях кварца установлены первичные, первично-вторичные и вторичные газожидкие включения, их гомогенизация происходит в области температур от 420 до 200 °С, причем статистический максимум температуры гомогенизации находится в интервалах от 420 до 320 и от 280 до 220 °С. Анализом водных вытяжек из газожидких включений во всех пробах пород установлено относительно невысокое содержание хлор-иона $((5-18) \cdot 10^{-6}$ г/г навески) и отсутствие фтор-иона. В некоторых образцах отмечается наличие галоидсодержащих углеводородов в примерно одинаковых соотношениях: хлоросодержащих $(9-35) \cdot 10^{-6}$, фторосодержащих $(19-37) \cdot 10^{-6}$ г/г навески. Содержание CO_2 и CO относительно невысокое: 5,94–58,39 и 3,21–9,19 мл/кг породы соответственно, преобладает обычно первый (соотношение $\text{CO}_2 : \text{CO}$ равно 1,4–12,8). Исключение, как и на Хмелевском участке, составляет образец амфиболового гнейса, для которого $\text{CO}_2 : \text{CO} = 0,8$. Летучие углеводородные компоненты присутствуют в небольшом количестве во всех образцах (CH_4 0,16–0,87; C_2H_6 0,02–0,14 мл/кг породы). Содержание H_2S повышенное (достигает 1,39–5,39 мл/кг породы).

Дубиновский участок. Изучены скарноиды гранатодиопсидового состава с примесью биотита, апатита, карбоната, хлорита и хорошо ограненных кристаллов кварца, которые испытали окварцевание (скв. 6305, интервал от 49 до 215 м). В гранате скарноидов обнаружены одно- и двухфазные углекислотные включения, присутствующие в форме “негативного кристалла” со скульптурой граней на стенках вакуолей. Размер включений 5–12 мкм. Частичная гомогенизация углекислого газа в жидкую фазу происходит при 25–26 °С. Плотность CO_2 0,703–0,688 г/см³.

В эпигенетическом (жильном) кварце выделено две группы включений: жидкие, газожидкие водно-солевого состава и существенно углекислотные. Газожидким водно-солевым включениям размером 5–30 мкм присуща удлинённая форма, количество газовой фазы занимает 15–20% объема вакуолей. Гомогенизация их происходит в основном в жидкую фазу при 400–140 °С. Преобладающая часть включений гомогенизируется при 340–280 °С. В нескольких включениях гомогенизация протекает в газовую фазу при 385–365 °С, этот интервал, по мнению Н. М. Гостяевой, близок к истинной температуре образования кварца. Распределение температуры гомогенизации газожидких включений (табл. 2), свидетельствует об относительно устойчивых температурных условиях функционирования флюидной системы.

Углекислотные включения в кварце размером 8–15 мкм располагаются группами, имеют отчетливо выраженную форму негативного кристалла. Они характеризуются подвижной газовой фазой, частично гомогенизируются при температурах от 26–27 до 29–30 °С в жидкую фазу, что соответствует изменению плотности жидкой углекислоты от 0,688 до 0,598 г/см³.

Как и на других проявлениях золота, на этом участке во всех пробах установлено относительно невысокое содержание хлор-иона $((5-18) \cdot 10^{-6}$ г/г навески) и отсутствие фтор-иона. В отличие от Хмелевского и Липняжского участков в составе галогеносодержащих углеводородов преобладает фторидный углеводород $((22,0-55,5) \cdot 10^{-6}$ г/г навески), хлоридный

углеводород установлен лишь в трех пробах и в небольших количествах ($(5-9) \cdot 10^{-6}$ г/г навески). На Дубиновском участке в скарноидах обнаружено наиболее высокое содержание CO (14,03–25,85 мл/кг породы) и CO₂ (328,1–688,13 мл/кг породы). В кварцевых и кварц-полевошпатовых прожилках, секущих скарноиды, а также в исходных гранитах количество этих компонентов незначительное и составляет CO 3,16–4,8; CO₂ 10,04–44,56 мл/кг породы. В скарноидах отмечено и самое высокое значение CO₂ : CO (18,7–26,6). В гранитоидах и жильном кварце оно равно 2,1–14,1. Исключением является эпигенетический кварц (см. табл. 1, обр. 24) с повышенной концентрацией CO (7,75 мл/кг породы) и CO₂ (290,51 мл/кг породы) и самым высоким соотношением CO₂ : CO = 37,5. Метан в незначительных количествах (0,06–0,77 мг/кг породы) присутствует во всех пробах, тогда как сероводород отмечен лишь в нескольких (0,03–0,38 мл/кг породы). Концентрация хлорид-иона и фторид-иона, связанных с углеводородами, в скарноидах несколько ниже.

Савранский участок. Исследования проведены по скв. 6354, глубина 185–335,5 м. Кроме того, использованы лабораторные данные авторов настоящего сообщения.

В кварце из гранита обнаружено расплавленное включение, нагревание которого до 600 °C привело к плавлению содержимого и обособлению газовой фазы. При температуре 1000 °C произошла гомогенизация газа, в расплаве остались две неправильной формы минеральные фазы: прозрачная в количестве 20% и непрозрачная (черное рудное вещество?) — 2–3% объема включения. Около 1070 °C началось плавление породы (гранита). Это включение, вероятно, характеризует температурные условия гранитизации.

Температура гомогенизации вторичных газовой-жидких включений в породообразующих минералах составляет: в амфиболе 350 °C, в полевых шпатах 350–120 °C, в кварце 455–120 °C; концентрация растворов меняется в пределах 6,0–20,5%; давление минералообразующих растворов, полученное по двум различным сингенетическим семействам включений по методике В. А. Калюжного [4], равно $(0,5-0,36) \cdot 10^8$ МПа. Следует отметить высокую насыщенность минералов включениями, содержащими органические вещества, причем неправильная их форма отражает неравновесные условия образования [5]. Часто наблюдается “отшнуровывание” части включения, перенаполнение одних систем включений растворами других, а также декрипитация некоторых с образованием вокруг них дочерних включений.

Наблюдения включений в кварце (скв. 6354) показали, что существует два характерных температурных интервала гомогенизации вторичных газовой-жидких включений: 340–330 и 240–230 °C. Им отвечает изменение давления, от $0,8 \cdot 10^8$ до $0,3-10^8$ МПа соответственно, обусловленное интенсивным катаклизмом кварца.

Таблица 2. Температура гомогенизации газовой-жидких включений в эпигенетическом кварце скарноидов Дубиновского участка

Интервал температур, °C	Температура гомогенизации включений, °C		Количество замеров
	Образец 6305/62	Образец 6305/123	
> 380	385	395, 389, 382	4
380 – 340	379, 373, 365, 359	374, 363, 345, 344	8
340 – 300	325, 322, 320, 319, 318, 310, 302	339(3), 338, 327, 330, 312, 305	15
300 – 260	296, 291, 286, 283, 282, 277, 276, 274	295, 286, 280, 262	12
260 – 220	256, 244, 228	—	3
220 – 180	198	206	2
180 – 140	146, 143	—	2

По сравнению с другими участками, содержание хлор-иона (при отсутствии фтор-иона) существенно выше, особенно в интервале глубин от 248 до 335,5 м ($(26,5-50,0) \cdot 10^{-6}$ г/г навески). Хлорид-ион, связанный с углеводородами, отсутствует, а фторид-ион встречен лишь в двух образцах окварцованных гранитов ($24,7 \cdot 10^{-6}$ и $33,0 \cdot 10^{-6}$ г/г навески). Проявляется тенденция увеличения количества диоксида углерода и $\text{CO}_2 : \text{CO}$ в системе: мигматиты ($\text{CO}_2 = 8,51$ мг/кг породы; $\text{CO}_2 : \text{CO} = 0,6$) — аллит-пегматоидные граниты (12,02–35,34 мг/кг породы; 1,2–5,6) — окварцованные граниты (31,48–65,96 мг/кг породы; 2,0–3,9) — эпигенетический кварц (138,83 мг/кг породы; 13,4 соответственно). Количество метана, этана и сероводорода в породах этого участка наиболее низкое: CH_4 0,03–0,17; C_2H_6 0,01–0,27; H_2S 0,02–0,85 мг/кг породы.

Значительный интерес представляет наличие практически во всех образцах изученных участков свободных, не связанных с графитом аминокислот [3, 6, 7]. Не касаясь вопросов их генезиса, полагаем, что сам факт их присутствия, независимо от степени метаморфизма, гранитизации и эпигенетического изменения пород, может быть косвенным подтверждением вывода о первично осадочном происхождении эдукта в восстановительных условиях прибрежно-морских лагун, изобилующих органикой [8]. Это тем более возможно, что среди факторов, способствующих “освобождению” аминокислот, исследователями [3] отмечена тепловая энергия, в нашем случае метаморфизм, доходящий до ультраметаморфизма, а также указана важная роль этих компонентов в мобилизации и переносе металлов, в том числе золота, именно в восстановительных условиях в широком диапазоне рН среды.

Изменение соотношения $\text{CO}_2 : \text{CO}$ отражает преобладание CO в неизменных амфиболитах, амфиболовых гнейсах и мигматитах и существенное возрастание количества CO_2 в скарноидах, окварцованных породах и эпигенетическом кварце. Это можно объяснить инверсией среды минералообразования — переходом от восстановительных условий к окислительным. Можно предположить, что инверсия совпадает во времени со сменой прогрессивного метаморфизма регрессивными процессами, среди которых важная роль принадлежит локальному кремниевому метасоматозу. Вмещающие породы, таким образом, в ходе гидротермально-метасоматического процесса служили восстановителем для компонентов, находящихся в рудообразующих растворах.

Сравнительный анализ изученных участков проявления золота, как по температурным условиям, так и по составу водной и газовой составляющих минералообразующих флюидов, демонстрирует их генетическую близость. Процесс формирования золотосодержащих кварц-сульфидных зон был по своей природе гидротермальным и протекал в широком диапазоне температур от 455 до 120 °С (для Восточно-Юрьевского месторождения 450–100 °С [2]) в условиях падения давления в системе от $0,8 \cdot 10^8$ до $0,3 \cdot 10^8$ МПа. Наиболее реальная температура отложения кварца, вероятно, соответствует более узкому интервалу: 420–320 °С.

1. Фомин Ю. А., Демидов Ю. Н. Изотопный состав углерода и серы раннепротерозойских пород центральной части Украинского щита // Доп. НАН України. – 2008. – № 7. – С. 123–129.
2. Фомин Ю. А. Восточно-Юрьевское месторождение золота // Минерал. журн. – 1999. – 21, № 4. – С. 32–44.
3. Кузнецова С. В., Кулик Ж. В., Лазаренко Е. Е. Аминокислоты в газовой-жидких включениях из пород Украинского щита // Докл. АН УССР. – 1983. – № 9. – С. 15–17.
4. Калюжний В. А. Основы учения о минералообразующих флюидах. – Киев: Наук. думка, 1982. – 238 с.
5. Кузнецова С. В., Лазаренко Е. Е., Гостяева Н. М. Органические вещества во включениях минералообразующих сред из кварца рудных месторождений: Тез. докл. Всесоюз. совещ. по геохимии углерода. – Москва: Наука, 1981. – С. 42–44.

6. Егоров И. А., Сергиенко И. З. Аминокислоты и углеводы в породах докембрия. – Происхождение жизни и эволюционная биохимия. – Москва: Наука, 1975. – С. 5–26.
7. Закруткин В. Е., Калмыкова Ю. А. Аминокислоты в осадочно-метаморфических породах докембрия Приазовского блока Украинского щита // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1980. – № 9. – С. 14–17.
8. Корженев М. Н., Фомин Ю. А. Эволюция условий накопления пород криворожской серии по геохимическим и изотопным данным // Геол. журн. – 1992. – № 3. – С. 93–99.

Институт геохимии окружающей среды
НАН Украины и МЧС Украины, Киев

Поступило в редакцию 04.02.2008

УДК 528.88-519.6

© 2008

Д. М. Мовчан

Можливості використання даних супутникових зйомок MODIS для оцінки продуктивності різних видів рослинності та потоків CO₂ у системі рослинність — атмосфера (на прикладі території України)

(Представлено членом-кореспондентом НАН України В. І. Ляльком)

A growing number of studies has shown that the reflectance changes at 531 nm, associated with the xanthophyll cycle and the related thylakoid energization, are widespread among plant species. The photochemical reflectance index (PRI) has been related with some success to the photosynthetic light use efficiency (LUE). Such a relationship would enable to estimate the photosynthesis by remote sensing data. In this work, the analysis for opportunity using MODIS data for the estimation of processes of photosynthesis for different vegetable cover types is performed. The comparative analysis of the CO₂ absorption efficiency by different types of the vegetable cover for a part of the territory of Ukraine is carried out.

Одним з фундаментальних кліматичних показників “глобальних змін”, які мають практичне значення для людства, є зміна біологічної продуктивності наземних екосистем.

Просторові коливання значень чистої первинної продуктивності (NPP) наземної рослинності є істотними і знаходяться в межах від ~ 1000 гС/м² на рік — для вічнозелених тропічних дощових лісів, до < 30 гС/м² на рік, для пустель (Lieth, Whittaker, 1975). За умов збільшення в атмосфері концентрації CO₂ та внаслідок глобальних змін клімату величина NPP може коливатися в значних межах над різними територіями (Muneri та ін., 1997; Melillo та ін., 1993). Тому розуміння регіональних змін вуглецевого циклу вимагає більш детального аналізу процесів, які відбуваються на земній поверхні.

Важливу інформацію для оцінки цих процесів дають дані дистанційного супутникового зондування. В 1999 р. у рамках розвитку системи спостережень Землі (EOS) NASA був запущений супутник Terra, на борту якого встановлено сканер MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), за його допомогою проводиться регулярна глобальна тижнева оцінка процесів фотосинтезу та чистої річної первинної продуктивності всіх типів земного