

V. ГЕОЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

УДК 552.325(235.5)

С. И. Высоцкий, С. Г. Ковалев

МЕСТОРОЖДЕНИЕ ТУБА-КАИН: ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГЕОХИМИЯ, ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И МОРФОЛОГИЯ ЗОЛОТА

Аннотация. В работе приводятся материалы о геологическом строении, петрогеохимические характеристики пород и данные о химическом составе и морфологии самородного золота месторождения Туба-Каин (Южный Урал). На основе анализа всего имеющегося материала показано, что генезис золоторудного месторождения Туба-Каин обусловлен кристаллизацией золота в несколько этапов при меняющихся физико-химических параметрах среды, на каждом из которых действуют свои механизмы концентрации металла.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, дациты, туфы, метасоматиты, метасоматоз, минералообразование, самородное золото, генетическая модель.

Введение

Магнитогорский мегасинклиорий является одной из основных структур Южного Урала, в которой сосредоточены месторождения цветных металлов и золота. Мегаструктура делится на несколько металлогенических поясов, одним из которых является Восточно-Уральский металлогенический пояс. Характерный тип оруденения для этого пояса — Уральский, основными признаками которого служат: 1) медно-цинковый состав и массивное сложение руд, 2) линзовидная форма и стратиформный характер рудных залежей, 3) залегание среди вулканитов риолит-базальтовой и базальт-андезит-риолитовой формации [Прокин и др., 1992]. Колчеданные месторождения данного типа широко распространены во многих провинциях мира и занимают центральное положение в ряду колчеданных рудных формаций, характеризующихся изменением состава руд от серно-медноколчеданного к медно-цинковоколчеданному и золото-барит-колчеданно-полиметаллическому. Крайние члены этого ряда обычно относятся к Кипрскому типу (существенно медноколчеданному) и типу Куроко (колчеданно-полиметаллическому). Последнему в определенной степени соответствует Баймакский тип, широко развитый в южной части Магнитогорского мегасинклиория. Отличительными чертами месторождений Баймакского типа являются: меньшие размеры объектов, более высокие содержания барита, благородных и цветных металлов, преобладание вкрап-

ленных текстур, большая степень эпигенетических преобразований руд, чем в типичных колчеданных месторождениях Уральского типа. Месторождения Баймакского типа обычно пространственно сопряжены с субвулканическими телами кислого состава.

В Баймакском рудном районе разведано значительное количество месторождений цветных и благородных металлов. По минеральному составу среди них выделяются серно-колчеданные золотосодержащие (Семеновское, Куль-Юрт-Тау), золото-баритовые (Горная Байкара, Туба-Каин) и золото-медно-цинковые (Восточно-Семеновское, Бакр-Тау, Таш-Тау, Майское и др.). Кроме того, окисленные золотосодержащие руды выявлены на месторождениях Семеновское, Западно-Семеновское, Восточно-Семеновское, Юлалы, Туба-Каин, Балта-Тау, Санкым, Горная Байкара, Уваряж, Абей-Саз, Тубинское и Таналькское.

Несмотря на значительное количество публикаций, посвященных различным аспектам геологического строения, геохимии рудовмещающих и рудоносных пород, минералогии сульфидов и процессам рудообразования этих объектов, многие вопросы, в частности, химический состав и морфология золота, остаются слабо изученными [Зайков и др., 2003; Викентьев, 2003; Масленников и др., 2000; Салихов и др., 2003; Ковалев и др., 2014].

Геологическое строение месторождения

Месторождение Туба-Каин, открытое в начале XX века, расположено в юго-западной части Восточно-Баймакской рудоносной зоны, приурочен-

ной к западному борту Магнитогорской мегаструктуры Южного Урала (рис. 1). Объект относится к золотоколчеданной формации. Преобладающий тип руды прожилково-вкрапленный, по минеральному составу пирит-баритовый. В небольших количествах в рудах присутствует сфалерит, еще реже халькопирит.

В строении рудного поля участвуют вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы ирендыкской, ярлыкаповской и улутауской свит девона [Салихов и др., 2003; Маслов, Артюшкова, 2010], прорванные телами субвулканических дацитовых порфиритов, приконтактные зоны которых с вмещающими породами гидротермально изменены.

Породы ирендыкской свиты, распространенные в северо-западной и центральной частях рудного поля, представлены лапиллиевыми и агломератовыми туфами смешанного состава, реже гравийными и псаммитовыми разновидностями, встречающимися в виде прослоев. Литолого-петрографический состав обломков самый разнообразный (кварциты, гематит-кварцевые породы, кварцевые порфиры, миндалекаменные базальтовые порфириты, диориты), в связи с чем породы имеют пеструю окраску. Залегающие стратиграфически выше отложения ярлыкаповской свиты представлены кремнями. Отложения улутауской свиты развиты в западной и южной частях рудного поля. Состав пород сравнительно однородный с преобладанием туфопесчаников, реже туфоалевролитов. Субвулканические образования, развитые в центральной, северной и восточной частях рудного поля, представлены массивными плотными плагиоклазовыми и роговообманково-плагиоклазовыми андезит-дацитовыми и дацитовыми порфиритами (рис. 2а).

Рудовмещающий комплекс представлен вторичными кварцитами (рис. 2б), реже хлорит-серицит-кварцевыми породами, которые распространены на контакте субинтрузивных дацитовых порфиритов с туфами смешанного состава. Зона метасоматитов имеет сложную подковообразную форму и ориентирована концами в северном направлении (см. рис. 1). Золоторудные тела локализируются вблизи контактов дацитовых порфиритов с туфами.

На месторождении Туба-Каин выделены два промышленных типа золотосодержащих руд: сульфидные и окисленные. Руды первого типа представлены светло-серыми, зеленовато-серыми сульфидизированными (сфалерит, пирит) барит-серицит-кварцевыми метасоматитами (рис. 2в, г) с тонкозернистой основной массой и сланцеватой текстурой. Сульфиды образуют рассеянную вкрапленность и тонкие прожилки. Окисленные руды состоят из лимонита, гетита, гематита, ярозита, гидрогетита,

гидрогематита. Нерудные минералы представлены каолином, кварцем, карбонатами, гидрослюдами, баритом. Нижняя граница окисленных руд проходит на глубинах 35–45 м с резким переходом одних разновидностей в другие.

Всего на месторождении разведано 9 рудных тел, из них два находятся на Западном участке, одно — на Юго-Западном участке, четыре — на Центральном, одно — на Южном и одно рудное тело на Восточном участке. Ниже приводится описание участков по материалам экспедиции «Уралзолоторазведка».

Западный участок. 1-е тело залегает во вторичных кварцитах, образованных на контакте субинтрузивных дацитовых порфиритов с туфами смешанного состава, а 2-е — расположено в 5 м северо-западнее и является его продолжением. Мощности рудных тел переменчивы и составляют первые метры (1-е тело на поверхности — 5–7 м, в пережимах — 2 м, в раздувах — до 10–13 м). Западный контакт рудного тела 1 со вмещающими породами резкий. Туфы смешанного состава в приконтактной части мощностью 1–2 м с оруденелой зоной осветлены. Восточная граница рудного тела не установлена.

Первичные руды представлены светло-серыми, зеленовато-серыми сульфидизированными (сфалерит, пирит) барит-серицит-кварцевыми метасоматитами (вторичные кварциты) с тонкозернистой основной массой и реликтовой сланцеватой текстурой. Сульфиды, преимущественно пирит, образуют рассеянную вкрапленность и тонкие прожилки. Контакты первичных и окисленных руд резкие. По падению сульфидные руды прослежены на 40 м. Мощность пластообразных горизонтов вторичных кварцитов составляет 1–6 м, содержание Au — 1,3–8,0 г/т, Ag — 5–30 г/т, Zn — до 1,2%.

Окисленные руды распространены до глубины 41 м и по минеральному составу представлены гидроокислами железа, кварцем, каолином, баритом и гидрослюдами. Барит наблюдается в виде прожилков, линз, гнезд, реже образует жилы мощностью до 0,5–1,0 м. Из железистых минералов установлены лимонит, гетит, гематит, гидрогематит, ярозит, встречающиеся в виде гнезд, прожилков, разноориентированных скоплений. Среднее содержание золота в руде составляет 3–4 г/т, в отдельных случаях достигая значений 22 г/т. Отмечается понижение содержания золота с увеличением глубины.

Среднее содержание серебра в рудах составляет 45 г/т при максимальных значениях — 150 г/т. Распределение содержания серебра в рудном теле идентично золоту.

Юго-Западный участок расположен в 50 м к востоку от южного окончания рудного тела 1 Западного участка. Рудное тело залегает на контакте

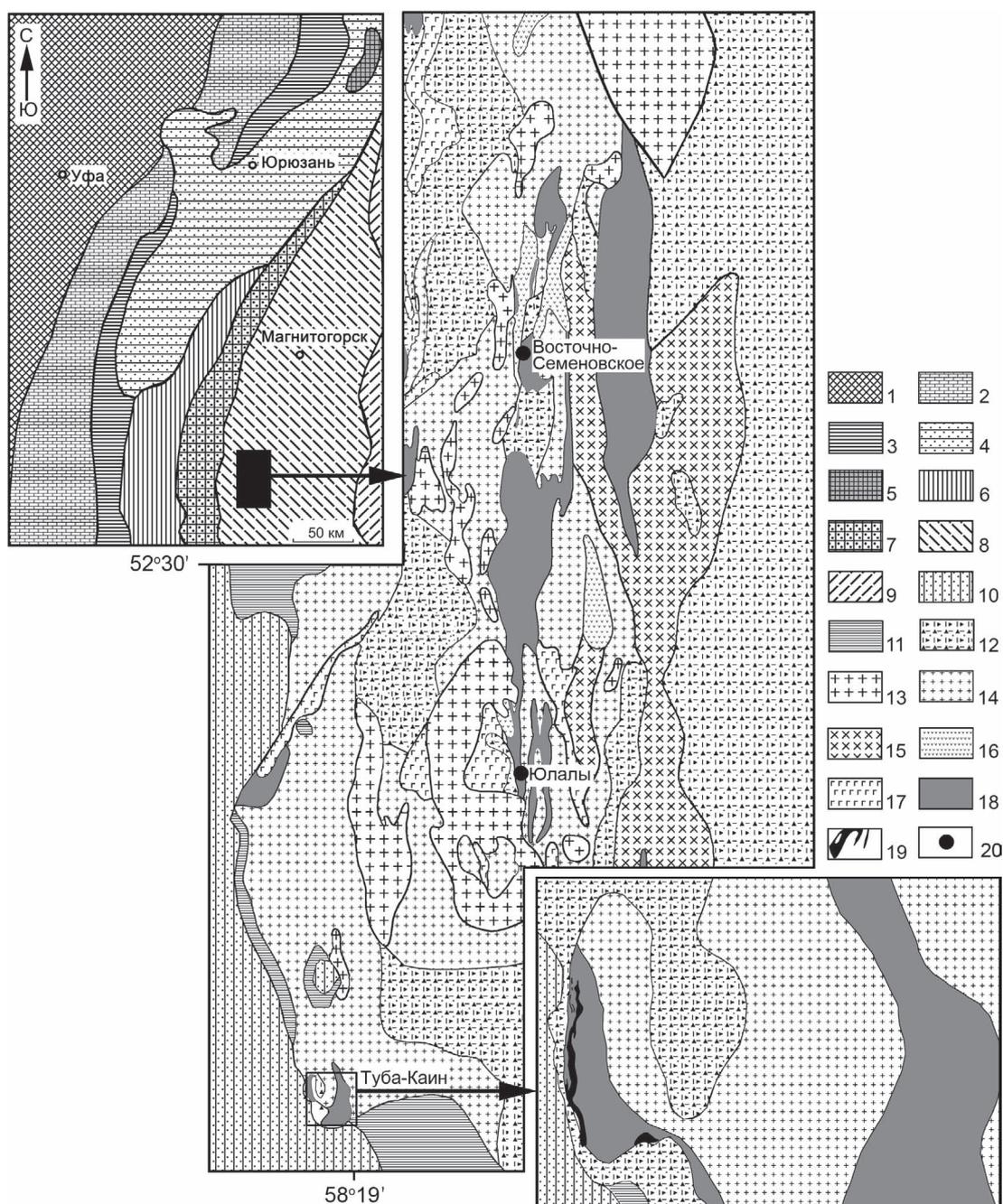


Рис. 1. Геологическая схема месторождения Туба-Каин

Условные обозначения: 1 — восточная окраина Русской плиты; 2 — Предуральский краевой прогиб; 3 — Западно-Уральская зона складчатости; 4 — Башкирский мегантиклинорий; 5 — Тараташский комплекс; 6 — Зилаирский мегасинклиний; 7 — зона Уралтау; 8 — Магнитогорский мегасинклиний; 9 — Восточно-Уральская зона; 10 — улутауская свита, живетский и нижнефранский ярусы (туфоконгломераты, туфопесчаники, туфоалевролиты, кремнистые туффиты); 11 — ярликаповская свита, верхи эйфельского яруса (яшмовидные кремнистые сланцы); 12–18 — ирендыкская свита, низы эйфельского яруса: 12 — туфы и лавы дацитовых, андезитовых, андезито-базальтовых порфиритов, туфопесчаники, туффиты, 13 — кварц-роговообманково-плагиоклазовые и кварц-плагиоклазовые риолит-дацитовые порфиры, 14 — кварц-пироксен-плагиоклазовые андезит-дацитовые порфириты, 15 — плагиоклазовые и роговообманково-плагиоклазовые дацитовые порфириты, 16 — кварц-пироксен-плагиоклазовые андезито-базальтовые порфириты, 17 — базальтовые порфириты, 18 — серицит-кварцевые, хлорит-серицит-кварцевые сланцы, вторичные кварциты; 19 — рудные тела; 20 — месторождения.

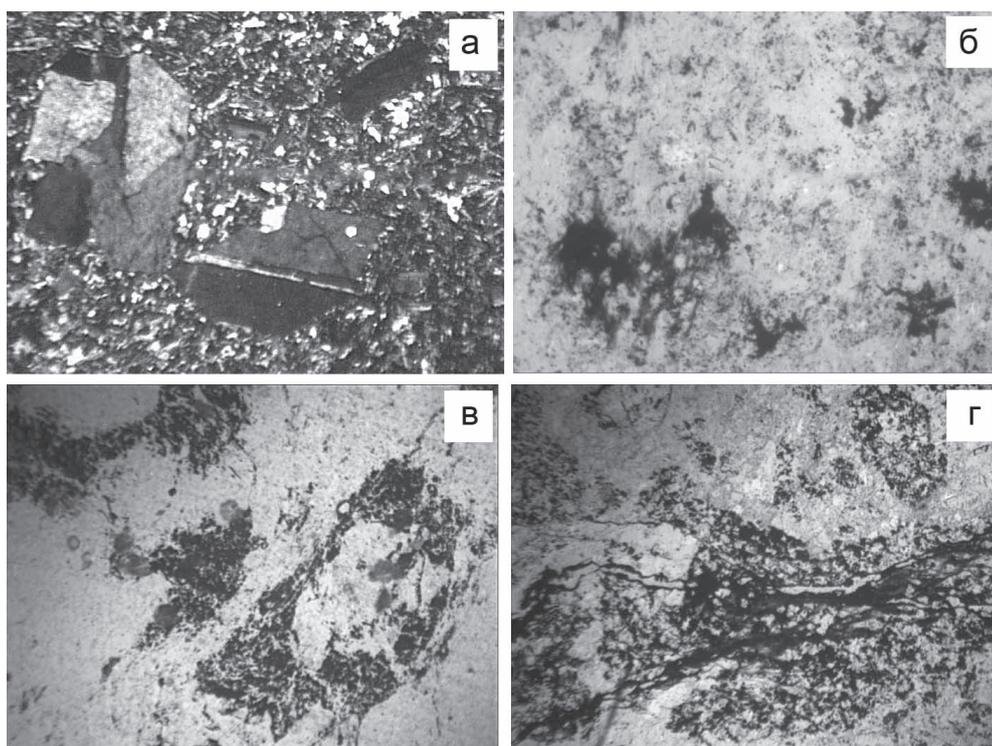


Рис. 2. Микрофотографии пород, распространенных в пределах месторождения Туба-Каин

а — дацитовый порфирит, б — турмалинсодержащий вторичный кварцит, в, г — апотуфовые барит-серицит-кварцевые метасоматиты.

туфов смешанного состава с нижележащими вторичными кварцитами, образованными по дацитовым порфирирам. Контакт руды с туфами резкий, а переход руды во вмещающие вторичные кварциты нечеткий. Длина рудного тела по простиранию составляет 30–40 м, по падению — 50–80 м. Мощности меняются от 2–3 м до 5–6 м в раздувах.

По минеральному составу руды Юго-Западного участка отличаются от других рудных тел большим количеством барита, который присутствует в виде сплошных баритовых жил мощностью до 4 м, а также в виде прожилков и гнезд. По цвету выделяются две разновидности барита: белый и голубовато-серый (значительно реже присутствует коричневые и темно-вишневые разновидности). Последний, как правило, характеризуется высоким содержанием Au и Ag.

Наиболее богатые руды сосредоточены в западной части рудного тела. Среднее содержание золота в окисленной руде составляет 3,3 г/т, серебра — 134,9 г/т.

Центральный участок расположен в 170 м к юго-востоку от Западного. 2 рудных тела располагаются в одной золотоносной зоне среди гидротермально измененных дацитовых порфиритов, превращенных во вторичные кварциты. Окисленные руды по минеральному составу представлены гидро-

окислами железа, кварцем, каолином, баритом и гидрослюдами. Средние мощности рудных тел и содержания в них Au и Ag составляют: 2-го тела — 2–4 м, Au — 4,8 г/т, Ag — 71,3 г/т; 3-го тела — 2 м, Au — 3,2 г/т, Ag — 79,4 г/т; 4-го тела — 2 м, Au — 3,6 г/т, Ag — 42,1 г/т; 6-го тела — 1,5–2 м, Au — 3,1 г/т, Ag — 48,0 г/т.

Южный участок расположен в 20 м к юго-востоку от Центрального. Рудное тело залегает среди ожелезненных вторичных кварцитов, образованных по дацитовым порфирирам. Форма рудного тела сложная, линзообразная, трубообразная с раздувами и пережимами. Максимальная мощность отмечена в центральной части рудного тела, где она достигает 10 м. Вещественный состав руд аналогичен составу рудных тел Центрального участка. Среднее содержание золота в руде составляет 2,7 г/т, серебра — 46,6 г/т.

Восточный участок располагается в 170 м к востоку от Центрального. По материалам экспедиции «Уралзолоторазведка», рудное тело залегает среди вторичных кварцитов, образованных по дацитовым порфирирам. Форма рудного тела линзовидная с апофизами, раздувами и пережимами. По минеральному составу аналогичны рудам Западного и Центрального участков. Среднее содержание золота в рудном теле составляет 3,3 г/т, серебра — 52,9 г/т.

Таблица 1

Содержания благородных металлов в породах месторождения Туба-Каин (ppm)

№ п/п	№ обр.	Порода	Ru	Rh	Pd	Ir	Pt	Au
1	ТБ-Б/М	Метасоматит	< 0,002	0,04	0,0023	< 0,002	< 0,002	1,98
2	ТБ-2/270	Туф	< 0,002	0,0041	0,0032	< 0,002	< 0,002	0,38
3	ТБ-22/11,8	Дациит	< 0,002	0,0026	0,034	0,0022	0,008	0,0065
4	ТБ-30/18,7	Туф	< 0,002	0,0028	0,004	< 0,002	< 0,002	1,15
5	ТБ-30/27,2	Туф	< 0,002	0,0057	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,098
6	ТБ-30/34,5	Туф	< 0,002	0,0043	0,0036	< 0,002	< 0,002	0,029
7	ТБ-51/33,4	Туф	< 0,002	0,0064	0,043	0,003	0,011	0,24
8	ТБ-51/34,2	Туф	< 0,002	0,0033	0,0032	< 0,002	< 0,002	0,28

Примечания: Анализы выполнены масс-спектрометрическим с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS) методом в аналитическом отделе ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). Аналитики В.А. Шишлов, В.Л. Кудряшов. Точность метода 0,002 ppm.

Кроме того, нами были определены содержания элементов платиновой группы в различных разновидностях пород месторождения Туба-Каин (табл. 1). Как видно из приведенных результатов, максимальные содержания родия установлены в метасоматитах; платины и палладия — в дацитах и туфах. При этом необходимо подчеркнуть, что содержания платиноидов подвержены значительной дисперсии, что свидетельствует об их перераспределении в рудном процессе, но для более детальной характеристики их поведения необходимо большее количество аналитических данных.

Петрогеохимическая характеристика пород

Определенный интерес представляет анализ содержаний и распределения петрогенных окислов, золота, серебра и микроэлементов в основных разновидностях пород месторождения Туба-Каин (табл. 2, 3, рис. 3, 4). Как видно из приведенных диаграмм, дациты характеризуются повышенными количествами суммарного железа, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Zn, Au и Ag, что в целом может быть объяснено вариациями состава расплава, сформировавшего магматические тела. В туфах также устанавливаются повышенные количества практически тех же окислов и элементов (суммарного железа, MgO, CaO, Na₂O, K₂O, Zn, Au и Ag), к которым добавляется барий, что, вероятнее всего, служит показателем их изменения при метаморфизме и метасоматозе.

Характерной чертой химии метасоматитов является не столько повышенное содержание практически всех проанализированных элементов, сколько значительная дисперсия значений в отдельных образцах. Так, содержания Au, BaO, CaO и K₂O различаются на 2 порядка, Ag, MnO и S_{общ} — на 3 порядка, MgO — на 4 порядка, что является результатом перераспределения вещества в рудном процессе.

Данные тенденции подчеркиваются и коэффициентами корреляции, рассчитанными между золотом и серебром и другими элементами. Так, в дацитах Au коррелируется с Na₂O (коэффициент корреляции 0,670), Cu (0,6345) и Zn (0,4999), а Ag с K₂O (0,506), BaO (0,6459), S (0,9393) и Cu (0,5513). В туфах для золота и серебра характерны отрицательные коэффициенты корреляции с цинком (–0,6868 и –0,6491 соответственно) и положительные — с хромом (0,5108 и 0,7551 соответственно) при коэффициенте корреляции Au–Ag, равном 0,8124. В метасоматитах для золота и серебра значимые коэффициенты корреляции получены только с BaO — 0,6091 и 0,7225 соответственно, при коэффициенте корреляции Au–Ag, равном 0,44.

При детальном изучении распределения Au и Ag отмечаются интересные взаимоотношения между их содержаниями в рудах и рудовмещающих породах месторождения (рис. 5). Как видно из диаграмм, в интервале 0,1–1,0 г/т Au наблюдаются значительные вариации количества серебра при «постоянных» (поинтервальных) содержаниях золота. При содержаниях Au выше 1 г/т какие-либо закономерности в распределении этих металлов отсутствуют. Возможно, данный факт свидетельствует о «большей подвижности» серебра в процессе эпигенетического преобразования пород.

Химический состав и морфология золота

По химическому составу самородное золото месторождения подразделяется на три типа: высокопробное (Ag — 3,05–12,37 вес. %), электрум (Ag — 33,47–34,02 вес. %) и медьсодержащее (Cu — 0,2–1,27 вес. %) (табл. 4). Зональность распределения золота и серебра в отдельных золотилах выражена нечетко. Наблюдается слабо проявленное обогащение Ag центральных частей и Au краевых.

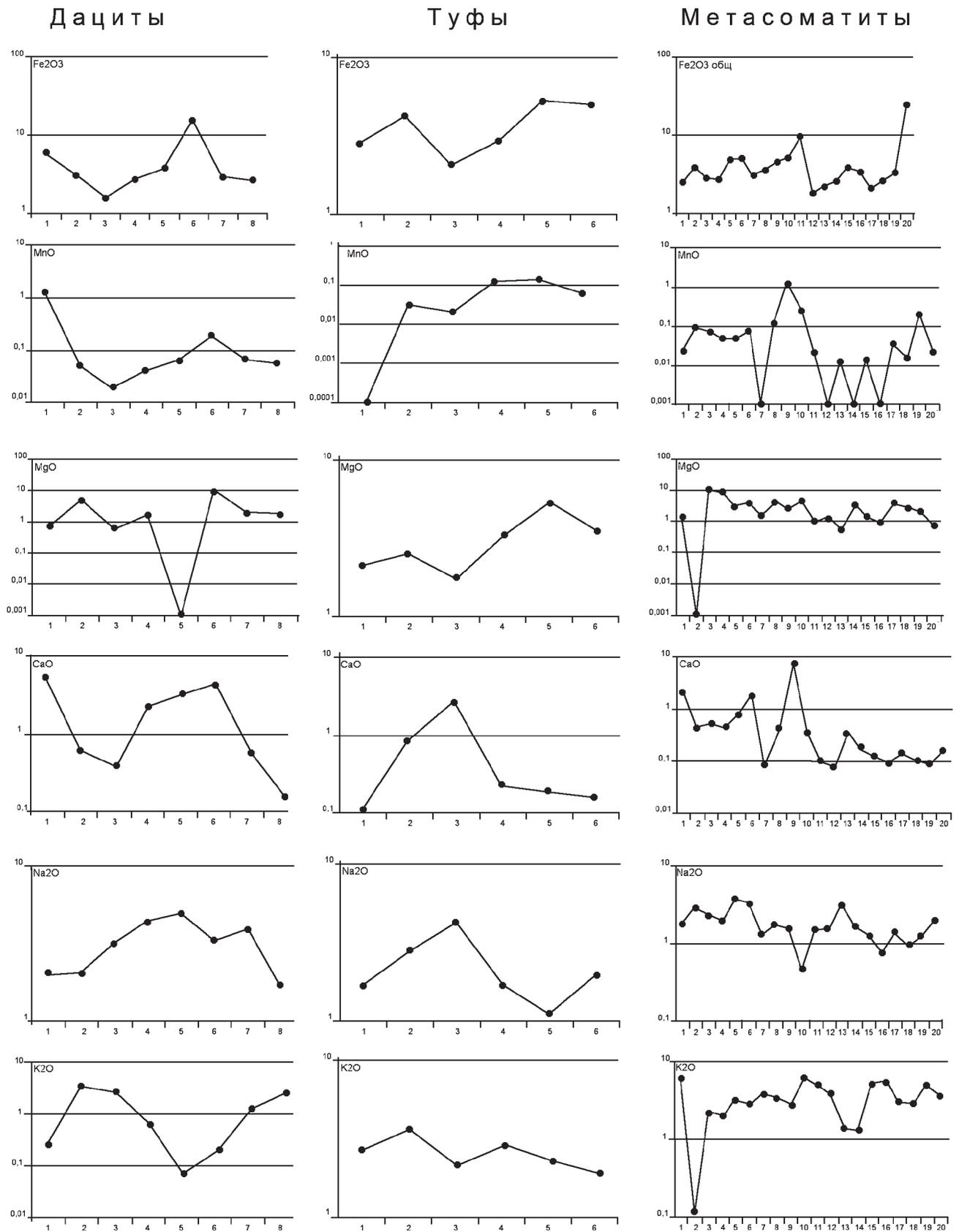


Рис. 3. Вариации содержаний породообразующих окислов в разновидностях пород месторождения Туба-Кайн

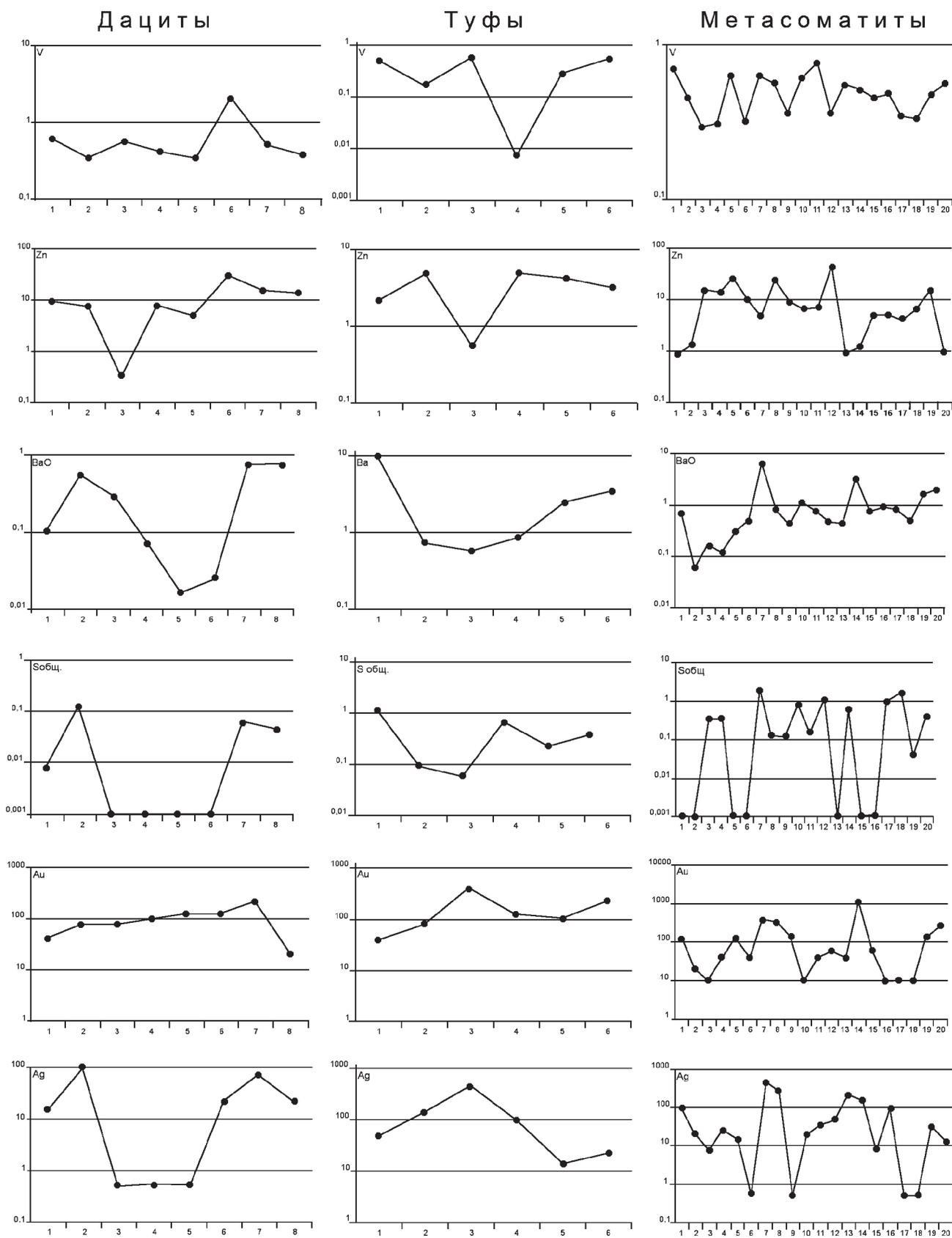


Рис. 4. Нормализованные на кларк содержания микроэлементов, золота и серебра в разновидностях пород месторождения Туба-Кайн. Кларки по [Чертко, Чертко, 2008]

Таблица 2

Содержания петрогенных окислов, Au Ag в породах месторождения Туба-Каин

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	BaO	S _{общ}	Au	Ag
1	49,47	0,41	25,27	5,97	1,2	0,72	5,31	2,03	0,26	0,11	0,10	0,01	0,2	1,4
2	67,86	0,25	14,48	3,11	0,05	4,57	0,62	2,03	3,23	0,11	0,56	0,12	0,4	9,4
3	74,88	0,33	14,76	1,58	0,02	0,60	0,38	3,11	2,55	0,07	0,29	0,001	0,4	0,05
4	70,97	0,37	14,93	2,80	0,04	1,65	2,16	4,30	0,64	0,14	0,07	0,001	0,5	0,05
5	73,08	0,37	13,25	3,77	0,06	0,001	3,20	5,01	0,07	0,13	0,02	0,001	0,6	0,05
6	41,12	2,10	16,76	15,49	0,19	10,13	4,10	3,32	0,20	0,36	0,03	0,001	0,6	2,1
7	69,92	0,46	15,88	2,87	0,07	1,70	0,57	3,94	1,23	0,08	0,77	0,06	1,1	7,1
8	74,57	0,33	12,58	2,69	0,05	1,72	0,15	1,69	2,45	0,07	0,78	0,04	0,1	2,1
9	65,48	0,45	11,91	2,8	0,001	2,19	0,11	1,69	2,68	0,05	9,51	1,15	0,2	4,9
10	67,86	0,38	15,34	4,22	0,03	2,5	0,83	2,8	3,63	0,05	0,72	0,09	0,4	13,3
11	61,28	0,32	19,23	2,05	0,02	1,75	2,71	4,26	2,11	0,09	0,57	0,06	2	45,4
12	66,46	0,36	16,31	2,94	0,12	3,32	0,23	1,67	2,86	0,07	0,85	0,67	0,6	9,7
13	59,09	0,39	15,72	5,24	0,13	5,39	0,19	1,1	2,26	0,1	2,5	0,24	0,5	1,4
14	65,81	0,35	12,13	5,05	0,06	3,57	0,16	1,97	1,88	0,09	3,4	0,41	1,1	2,2
15	62,10	0,34	20,14	2,49	0,02	1,30	2,03	1,78	6,09	0,15	0,66	0,001	0,6	9,7
16	71,81	0,47	16,41	3,81	0,09	0,001	0,43	2,91	0,12	0,11	0,06	0,001	0,1	2,1
17	60,74	0,26	15,02	2,78	0,07	11,03	0,54	2,26	2,18	0,08	0,17	0,35	0,05	0,7
18	65,53	0,30	13,02	2,69	0,05	8,31	0,43	1,94	2,05	0,07	0,12	0,38	0,2	2,5
19	58,57	0,60	19,44	4,77	0,050	2,74	0,79	3,72	3,06	0,11	0,31	0,001	0,6	1,4
20	62,85	0,39	16,28	5,01	0,08	3,92	1,84	3,27	2,72	0,11	0,49	0,001	0,2	0,05
21	61,01	0,47	16,26	3,09	0,001	1,54	0,08	1,32	3,65	0,13	6,38	1,99	2	45,4
22	62,82	0,47	17,47	3,48	0,12	4,15	0,42	1,73	3,23	0,16	0,82	0,13	1,6	26,7
23	56,94	0,41	21,29	4,59	1,29	2,53	7,01	1,55	2,70	0,13	0,44	0,13	0,7	0,05
24	53,07	0,66	23,29	4,97	0,24	4,46	0,32	0,46	5,81	0,08	1,12	0,81	0,05	2
25	58,40	0,42	18,05	9,48	0,02	1,02	0,10	1,50	4,87	0,15	0,76	0,15	0,2	3,4
26	68,33	0,37	17,51	1,83	0,001	1,22	0,08	1,55	3,66	0,06	0,47	1,10	0,3	4,7
27	74,09	0,58	15,23	2,16	0,01	0,55	0,34	3,04	1,37	0,08	0,44	0,001	0,2	23
28	67,44	0,46	16,27	2,53	0,001	3,16	0,17	1,65	1,31	0,06	3,23	0,56	5,6	15,2
29	60,90	0,38	22,24	3,90	0,01	1,36	0,12	1,28	5,10	0,10	0,77	0,001	0,3	0,8
30	60,86	0,39	23,54	3,39	0,001	0,96	0,09	0,76	5,30	0,08	0,92	0,001	0,05	9,3
31	68,15	0,33	15,61	2,08	0,03	3,79	0,14	1,37	2,98	0,06	0,87	1,09	0,05	0,05
32	69,19	0,31	15,34	2,59	0,02	2,79	0,10	0,96	2,73	0,06	0,50	1,58	0,05	0,05
33	60,53	0,32	21,24	3,35	0,20	2,08	0,09	1,24	4,94	0,05	1,71	0,04	0,7	3,1
34	45,57	0,39	14,77	24,51	0,02	0,76	0,16	1,97	3,53	0,15	2,02	0,42	1,3	1,3

Примечания: 1–8 — дацитовые порфириды; 9–14 — туфы; 15–34 — метасоматиты. Окислы даны в вес. %; Au и Ag — в г/т. FeO* — общее железо. Определения окислов выполнены в ИГ УНЦ РАН рентгено-флюоресцентным методом.

Таблица 3

Содержания микроэлементов в породах месторождения Туба-Каин (вес. %)

№ п/п	Sc	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Pb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	0,0023	0,0081	0,0046	0,0044	0,0050	0,1116	0,001	0,0297	0,0051	0,0139	0,0013	0,0149
2	0,001	0,0049	0,0011	0,001	0,0080	0,0918	0,0026	0,0056	0,0022	0,0108	0,0011	0,0069
3	0,001	0,0077	0,001	0,001	0,0080	0,0038	0,0033	0,0209	0,0022	0,0147	0,0027	0,0108
4	0,001	0,0057	0,001	0,001	0,0083	0,0902	0,0012	0,0308	0,0020	0,0154	0,0021	0,001
5	0,0016	0,0048	0,0013	0,0038	0,001	0,0595	0,0014	0,0589	0,0017	0,0162	0,001	0,001
6	0,0017	0,0286	0,0033	0,0132	0,0060	0,3579	0,0018	0,0750	0,0021	0,0210	0,0010	0,001

Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	0,001	0,0071	0,001	0,0032	0,0240	0,1806	0,001	0,0210	0,0025	0,0163	0,0021	0,0052
8	0,001	0,0052	0,001	0,0042	0,0096	0,1605	0,0047	0,0025	0,0068	0,0127	0,0021	0,001
9	—	0,007	—	0,0005	—	0,0264	0,0016	0,062	—	0,0245	0,0006	—
10	—	0,0024	—	0,0012	—	0,0591	0,0043	0,0027	—	0,0112	0,0007	—
11	—	0,0081	—	0,0001	—	0,0069	0,0026	0,0361	—	0,015	0,0009	—
12	—	0,0001	—	0,0032	—	0,0596	0,0043	0,0092	—	0,0116	0,0009	—
13	—	0,0041	—	0,0005	—	0,0503	0,003	0,0152	—	0,0162	0,001	—
14		0,0078	—	0,0001	—	0,0376	0,0012	0,0174	—	0,0162	0,0007	—
15	0,0013	0,0098	0,0001	0,0001	0,0073	0,0104	0,0050	0,0409	0,0041	0,0131	0,0025	0,0001
16	0,0001	0,0064	0,0021	0,0001	0,0045	0,0156	0,0014	0,0106	0,0036	0,0139	0,0024	0,0038
17	0,0001	0,0041	0,0012	0,0001	0,0025	0,1822	0,0026	0,0080	0,0024	0,0128	0,0024	0,0024
18	0,0001	0,0043	0,0001	0,0001	0,0023	0,1656	0,0025	0,0017	0,0019	0,0125	0,0027	0,0056
19	0,0001	0,0089	0,0001	0,0017	0,0068	0,2832	0,0039	0,0188	0,0024	0,0168	0,0024	0,0032
20	0,0001	0,0045	0,0001	0,0010	0,0067	0,1173	0,0043	0,0492	0,0025	0,0141	0,0016	0,0076
21	0,0001	0,0087	0,0001	0,0010	0,0085	0,0562	0,0030	0,0592	0,0015	0,0088	0,0013	0,0140
22	0,0001	0,0079	0,0001	0,0030	0,0064	0,2792	0,0056	0,0075	0,0039	0,0289	0,0013	0,0075
23	0,0021	0,0051	0,0001	0,0025	0,0055	0,1034	0,0051	0,1660	0,0041	0,0397	0,0015	0,0001
24	0,0011	0,0085	0,0001	0,0033	0,0047	0,0764	0,0060	0,0001	0,0023	0,0166	0,0023	0,0001
25	0,0001	0,0108	0,0029	0,0011	0,0506	0,0814	0,0056	0,0081	0,0030	0,0238	0,0013	0,0097
26	0,0001	0,0050	0,0012	0,0026	0,0239	0,5041	0,0049	0,0001	0,0018	0,0123	0,0013	0,3107
27	0,0001	0,0077	0,0001	0,0025	0,0036	0,0106	0,0015	0,0274	0,0018	0,0154	0,0024	0,0063
28	0,0010	0,0072	0,0001	0,0049	0,0154	0,0139	0,0027	0,0263	0,0011	0,0150	0,0023	0,0564
29	0,0011	0,0064	0,0017	0,0033	0,0096	0,0601	0,0059	0,0048	0,0023	0,0141	0,0025	0,0139
30	0,0001	0,0067	0,0001	0,0048	0,0079	0,0613	0,0061	0,0014	0,0019	0,0158	0,0023	0,0626
31	0,0001	0,0048	0,0001	0,0021	0,0089	0,0507	0,0021	0,0028	0,0023	0,0141	0,0023	0,0001
32	0,0001	0,0046	0,0001	0,0013	0,0091	0,0781	0,0027	0,0001	0,0016	0,0103	0,0021	0,0001
33	0,0001	0,0065	0,0001	0,0037	0,0063	0,1767	0,0068	0,0001	0,0032	0,0156	0,0001	0,0001
34	0,0001	0,0078	0,0021	0,0021	0,0147	0,0109	0,0010	0,0044	0,0014	0,0074	0,0001	0,2673

Примечания: 1–8 — дацитовые порфириты; 9–14 — туфы; 15–34 — метасоматиты. Определения выполнены в ИГ УНЦ РАН рентгено-флюоресцентным методом.

Таблица 4

Химический состав самородного золота месторождения Туба-Каин (вес. %)

№ п/п	№ обр.	Au	Ag	Cu	Пробность	Сумма
1	2	3	4	5	6	7
1	13199a	95,24	4,44		955,4	99,68
	13199b	93,82	6,03		939,6	99,84
	13199c	96,04	3,05		969,2	99,09
	13199d	98,88			1000	98,88
	13199e	93,36	6,12		938,4	99,49
2	13200a	90,94	8,33		916	99,27
	13200b	88,04	10,64		892,1	98,68
	13200c	90,42	9,58		904,2	100
	13200d	90,97	8,83		911,5	99,8
	13200e	89,54	10,79		892,4	100,33
3	13201a	95,65	4,4		956	100,05
	13201b	95,2	5,0		950	100,2
	13201c	95,26	4,74		952,6	100

1	2	3	4	5	6	7
4	13202a	65,63	33,47		662,2	99,1
	13202b	66,43	33,57		664,3	100
	13202c	65,45	34,02		657,9	99,48
5	13203a	99,8		0,2	998	100
	13203b	92,39	6,34	1,27	923,9	100,01
	13203c	91,67	6,37	1,16	924	99,21
6	13204a	90,36	9,64		903,6	100
	13204c	88,76	10,67		892,6	99,43
7	13205a	86,98	12,37		875,4	99,35
	13205b	88,82	11,18		888,2	100
8	13206a	97,7	1,99		980	99,68
	13206b	94,17	5,83		941,7	100
	13206c	94,43	5,57		944,3	100
9	13207a	94,54	4,31		956,3	98,85
	13207b	95,28	4,72		952,8	100
	13207c	94,9	4,17		957,9	99,07

Примечания: Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М в Институте минералогии УрО РАН г. Миасс. Аналитик В.А. Котляров.

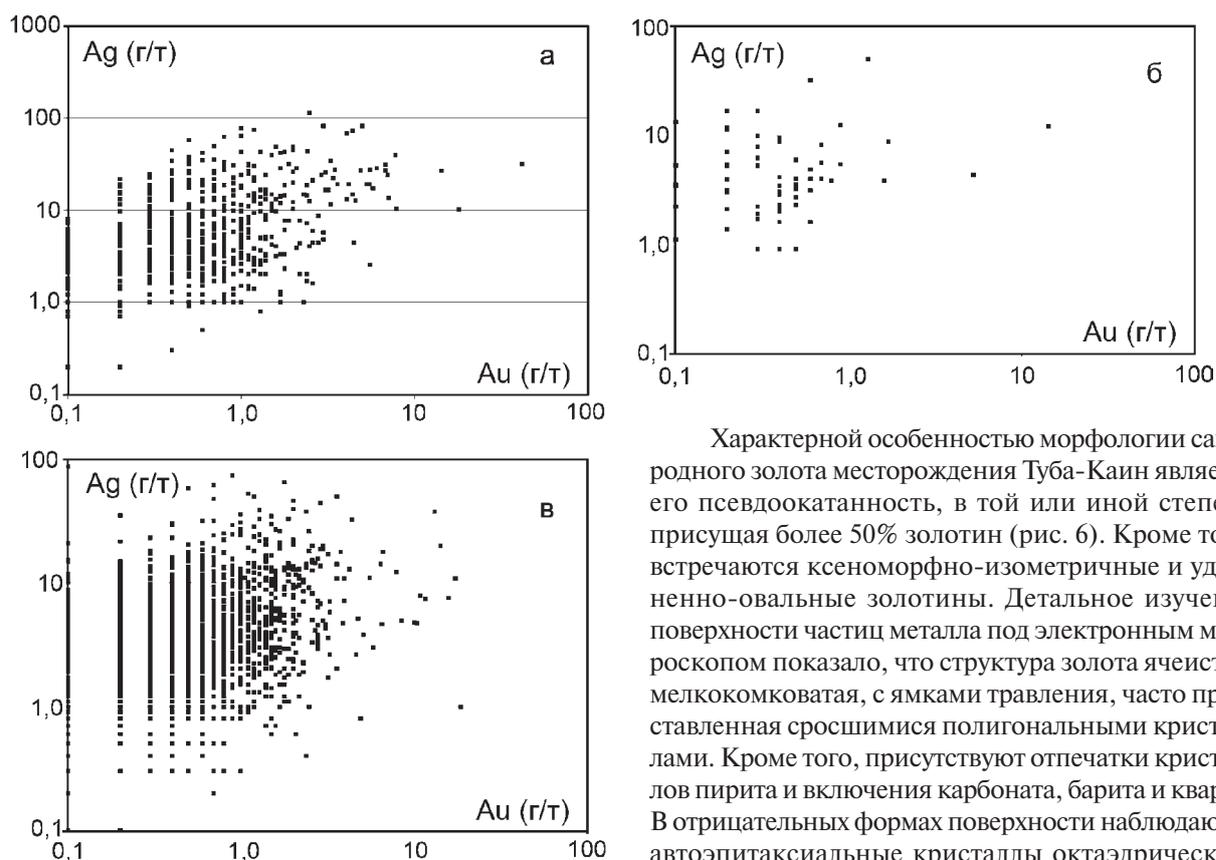


Рис. 5. Диаграмма Au – Ag для пород месторождения Туба-Каин

а — Западный участок, б — Южный участок, в — Центральный участок.

Характерной особенностью морфологии самородного золота месторождения Туба-Каин является его псевдоокатанность, в той или иной степени присущая более 50% золотин (рис. 6). Кроме того, встречаются ксеноморфно-изометричные и удлиненно-овальные золотины. Детальное изучение поверхности частиц металла под электронным микроскопом показало, что структура золота ячеистая, мелкокомковатая, с ямками травления, часто представленная сросшимися полигональными кристаллами. Кроме того, присутствуют отпечатки кристаллов пирита и включения карбоната, барита и кварца. В отрицательных формах поверхности наблюдаются автоэпитаксиальные кристаллы октаэдрического и ромбодекаэдрического габитуса, а также удлиненно-проволочные и пленочные новообразования золота (рис. 7а₂, б₂, в₂).

Для внутреннего строения ксеноморфно-изометричных золотин характерно наличие хорошо

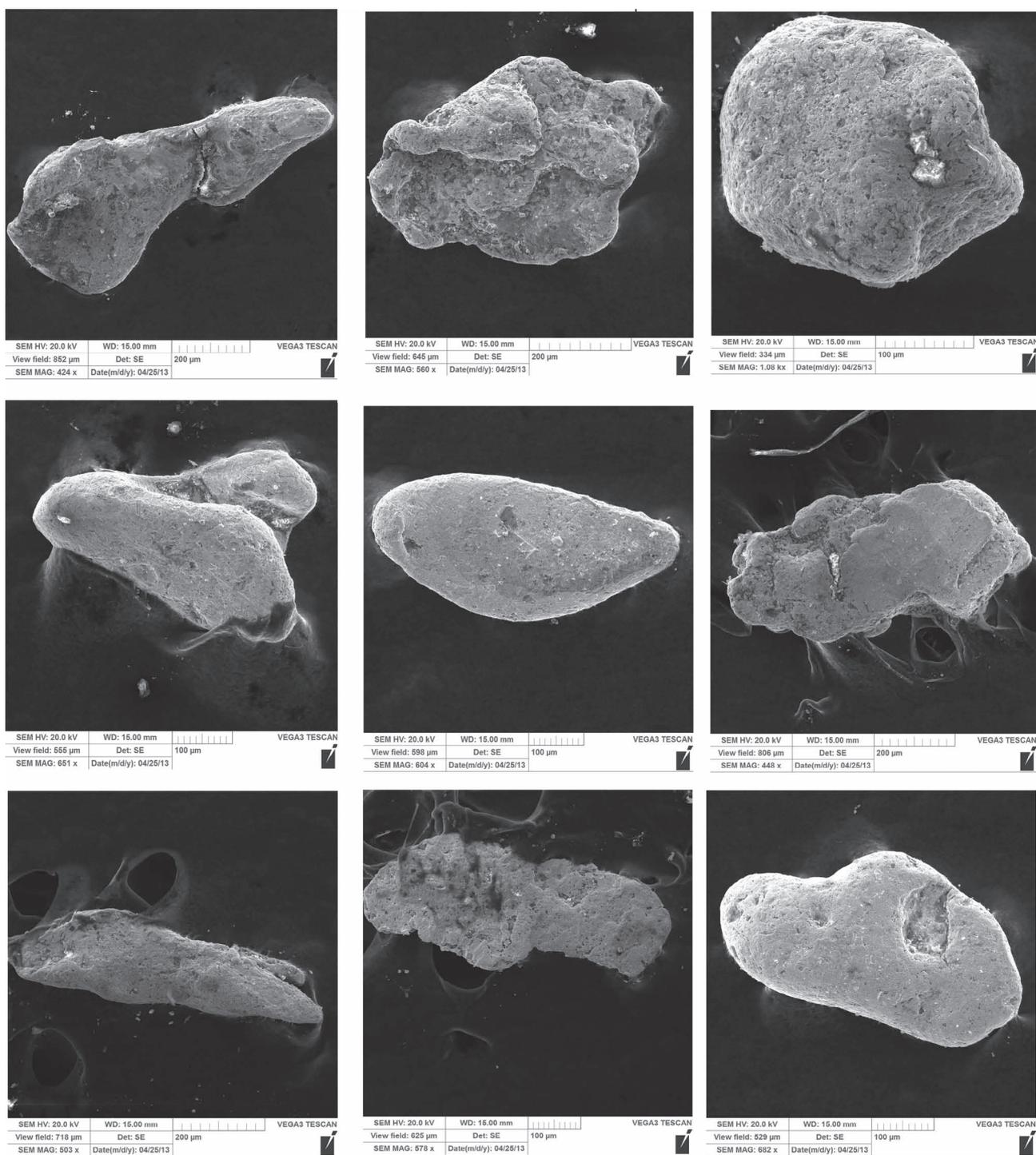


Рис. 6. Микрофотографии золотинок месторождения Туба-Каин

Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М в Институте минералогии УрО РАН г. Миасс. Аналитик В.А. Котляров.

выраженных кристаллографических граней (см. рис. 7а), что свидетельствует о первичной кристаллизации самородного Au в виде сростков ограненных кристаллов с различным химическим составом

(содержания Ag варьируют от 3,05 до 6,12 мас. %). Удлиненно-овальные золотины имеют однородное строение при значительных колебаниях серебра (от 1,99 до 12,37 мас. %).

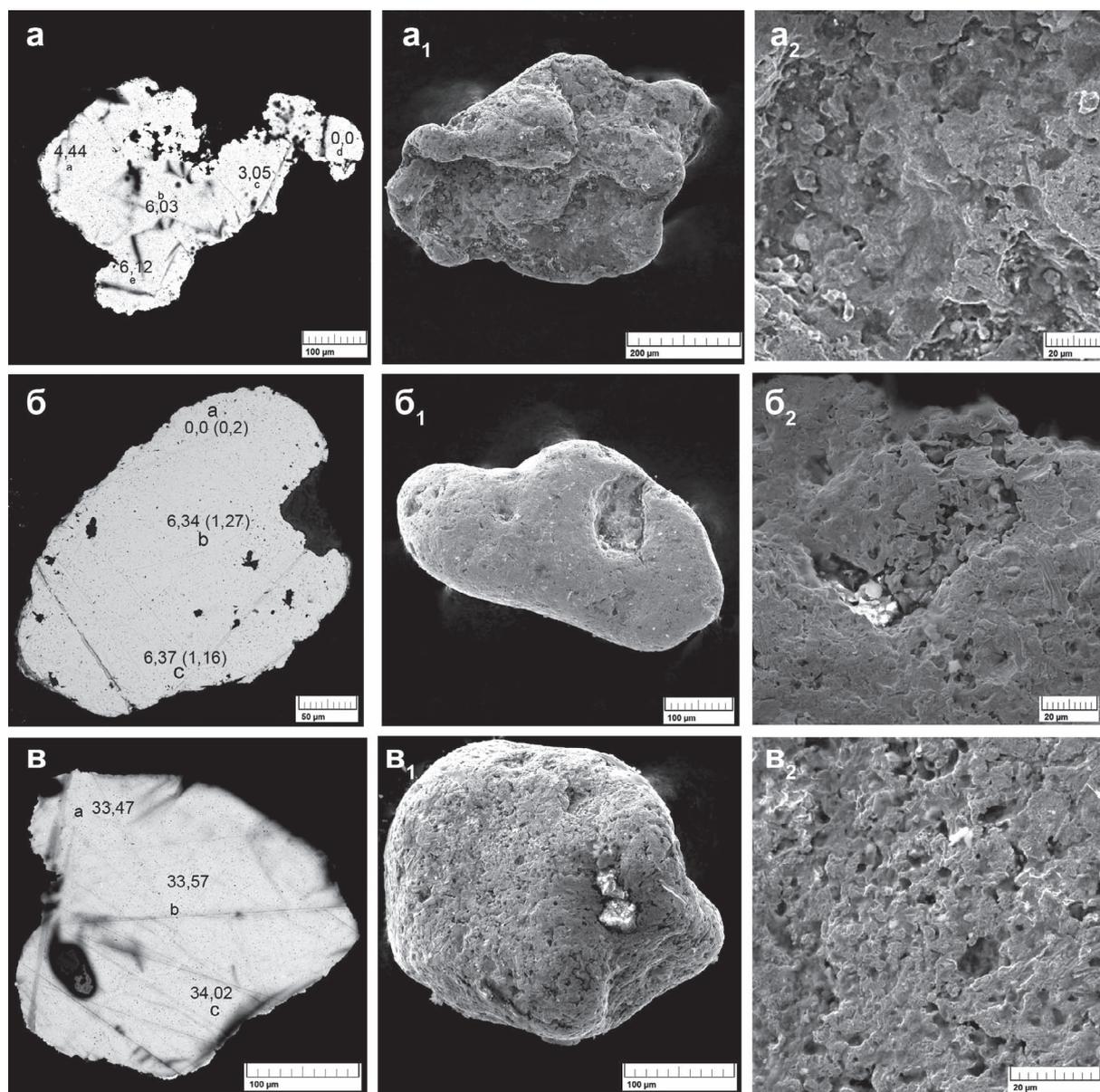


Рис. 7. Микрофотографии самородного золота месторождения Туба-Каин

а — высокопробное, б — медьсодержащее, в — электрум. Цифры на рис. — содержания Ag. Цифры в скобках — содержания Cu. Анализы выполнены на растровом электронном микроскопе РЭММ-202М в Институте минералогии УрО РАН г. Миасс. Аналитик В.А. Котляров. Пояснения в тексте.

Заключение

Анализ результатов изучения геологии, петрогеохимии пород и химического состава и морфологии самородного золота месторождения Туба-Каин позволяет в общем виде предложить генетическую модель образования месторождения, включающую как минимум 2 этапа рудообразования.

Первый этап — гидротермально-метасоматический, при котором под воздействием дацитов в кислой среде ($\text{pH} \approx 4$) с участием хлоридно-уг-

лесернокислотных растворов формируются рудные метасоматиты (вторичные кварциты и баритсерицит-кварцевые породы) в температурном интервале от 250°C (турмалинсодержащие разновидности) до $100\text{--}150^\circ\text{C}$ (кварц-каолинитовые разновидности). Золото на этом этапе, вероятнее всего, образует «обыкновенные» ксеноморфные выделения, характерные для рудного Au, представленные сростками кристаллов. Различия в химическом составе золотин свидетельствуют о локальной «неравновесности» процессов кристаллизации, об-

условленной неоднородностью среды минералообразования.

Второй этап — гипергенный, определяющими факторами которого являются рН, Eh среды, низкотемпературный метасоматоз, широкое развитие коллоидно-химических процессов, явления ионного обмена и т. п., реализуется в условиях сернокислотного выщелачивания. На этой стадии при наличии тонкодисперсного рудного золота, выступающего в качестве своеобразных «затравок», определяющая роль в перераспределении и концентрации металла принадлежит сорбции. Происходит укрупнение золотинок, а действие фундаментального физического закона — стремление к минимуму свободной энергии системы за счет уменьшения площади поверхности частицы — приводит к формированию округлых и сглаженных форм.

Таким образом, генезис золоторудного месторождения Туба-Каин обусловлен кристаллизацией золота в несколько этапов при меняющихся физико-химических параметрах среды, на каждом из которых действуют свои механизмы концентрации металла.

Литература:

Викентьев И.В. Состав самородного золота в колчеданных рудах Урала // Докл. РАН. — 2003. — Т. 393, № 5. — С. 659–663.

Зайков В.В., Белогуб Е.В., Котляров В.А. Галогениды серебра и самородное золото из зоны окисления месторождения Балта-Тау, Ю. Урал // Минералогия Урала. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. — Т. 2. — С. 16–20.

Ковалев С.Г., Пучков В.Н., Высоцкий С.И., Котляров В.А. Первые результаты изучения химического состава и морфологии золота месторождения Туба-Каин (Южный Урал) // Докл. РАН. — 2014. — Т. 457, № 5. — С. 559–563.

Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. — Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. — 288 с.

Масленников В.В., Тесалина С.Г., Беккер К., Херрингтон Р., Масленникова С.П. Состав и закономерности локализации минералов золота и серебра в палеогидротермальных трубах Яман-Касинского медно-цинково-колчеданного месторождения, Ю. Урал // Металлогения древних и современных океанов. Открытие, оценка, освоение месторождений. — Миасс: ИМин УрО РАН, 2000. — С. 128–135.

Прокин В.А., Серавкин И.Б., Буслаев Ф.П., Масленников В.В., Зайков В.В. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования. — Екатеринбург: УрО РАН, 1992. — 309 с.

Салихов Д.Н., Ковалев С.Г., Беликова Г.И., Бердников П.Г. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (золото). Ч. 1. — Уфа: Экология, 2003. — 221 с.

Чертко Н.К., Чертко Э.Н. Геохимия и экология химических элементов: Справочное пособие. — Минск: Изд. центр БГУ, 2008. — 140 с.

Сведения об авторах:

Высоцкий Сергей Игоревич, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: kovalev@ufaras.ru.

Ковалев Сергей Григорьевич, Институт геологии Уфимского научного центра Российской академии наук (ИГ УНЦ РАН), г. Уфа. E-mail: kovalev@ufaras.ru.

TUBA-KAIN DEPOSIT: GEOLOGY, PETROGEOCHEMISTRY, CHEMICAL COMPOSITION AND MORPHOLOGY OF THE GOLD

S. I. Vysotsky, S. G. Kovalev

Vysotsky Sergey Igorevich, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: kovalev@ufaras.ru.

Kovalev Sergey Grigorievich, Institute of geology of the Ufimian scientific centre (IG USC RAS), Ufa, Russia. E-mail: kovalev@ufaras.ru.

Abstract. In this paper we present material on the geological structure, petrogeochemical character and data on the chemical composition and morphology of Tuba-Kain native gold deposit (South Urals). Based on an analysis of all the available material, it is shown that the genesis of the Tuba-Kain gold deposit is caused by crystallization of gold in several stages under varying physico-chemical parameters of the medium, each of which has its own mechanisms of metal concentration.

Keywords: gold deposit, dacite, tuff, metasomatic rocks, metasomatism, mineral formation, native gold, the genetic model.