

УДК 553.06:553.411

ГАГАРСКОЕ ЗОЛОТОРУДНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ, РОССИЯ

© 2013 г. В. А. Филиппов*, В. Ф. Рябинин**, З. З. Сысоева***

* ООО «Геониск»

620014, Екатеринбург, ул. Радищева, 28

** Институт геологии и геохимии им. А.Н. Заварицкого УрО РАН

620151, Екатеринбург, Почтовый пер., 7

*** Сысертская геологопоисковая партия

624020, Свердловская обл., г. Сысерть, ул. Тимирязева, д. 168

Поступила в редакцию 05.06.2012 г.

Гагарское золоторудное месторождение сформировалось в два этапа. Золото-теллуридные руды раннего и основного этапа образованы в период пермской коллизии (около 260 млн. лет), сопровождавшейся диафторезом и мобилизацией золота и теллура из колчеданных залежей рифтогенной зоны, с которыми золоторудные тела имеют ряд общих геохимических черт. Золотоносная аргиллизит-кварцевая минерализация позднего этапа, предположительно мезозойского возраста, обладает специфическими геохимическими особенностями и местами наложена на руды раннего этапа. Верхняя часть ее метасоматической колонки представлена кварц-каолинитовыми породами. Во многих случаях их ошибочно принимают за продукты мезозойско-кайнозойской коры выветривания и не оценивают как признак нескрытых золотоносных аргиллизит-кварцевых тел, рудный потенциал которых на Урале остается нереализованным.

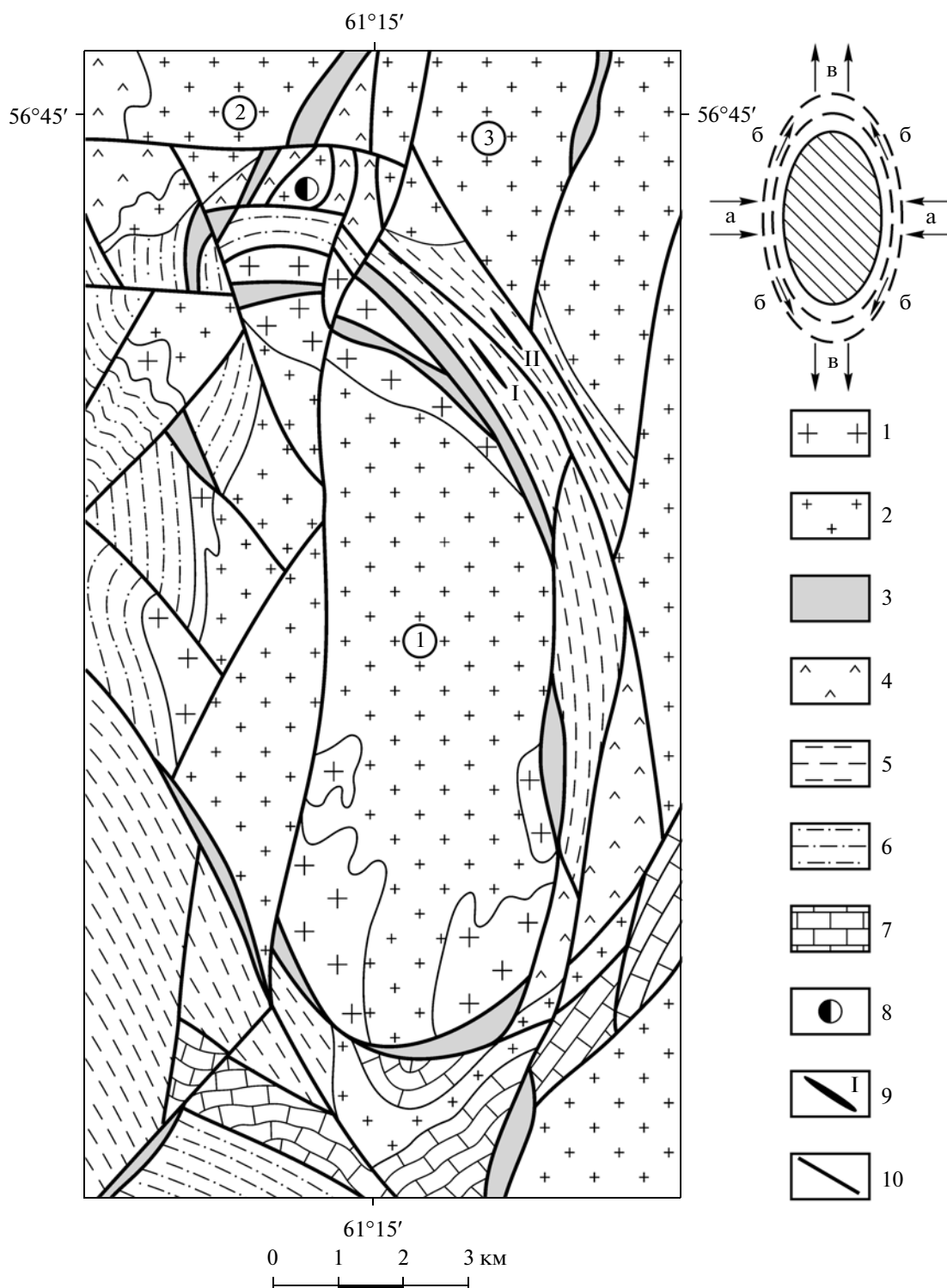
DOI: 10.7868/S0016777013010036

ВВЕДЕНИЕ

Гагарское месторождение находится в 35 км к востоку от г. Екатеринбурга и относится к нетрадиционному для Урала типу золотого оруденения. Оно было открыто в 1982 г. Уральской геологосъемочной экспедицией и до 1987 г. изучалось в сотрудничестве с группой ученых (В.Н. Сазонов, В.Ф. Рябинин) из Института геологии и геохимии УНЦ АН СССР. Полевые работы на участке месторождения и камеральная обработка материалов в период 1983–1987 гг. выполнялись под руководством одного из авторов данной статьи. В 1997 г. после предварительной разведки ТОО «Артель старателей Гагарка» и АОЗТ «Уральская горно-геологическая компания» запасы месторождения были утверждены ГКЗ МПР РФ в 8.2 млн. т руды со средним содержанием Au 4.2 г/т и Ag 15.8 г/т. С 1994 г. на месторождении ведется опытно-промышленная добыча Au из окисленных руд коры выветривания способом подземного выщелачивания. Одновременно проводились поисковые работы на южном фланге месторождения. Результатом их явилось уточнение геологического строения южного фланга и открытие золотых руд, отличающихся по составу и возрасту от ранее изученных.

Весь фактический материал, изложенный в статье, собран авторами на протяжении нескольких лет при поисковых, геологоразведочных работах. Результаты исследования (Рябинин, 1988), характеризующего Гагарское месторождение как золото-теллуридное, были частично опубликованы в обзорном описании золоторудных месторождений Урала (Сазонов и др., 2001). Его авторы рассматривают Гагарское месторождение как единственный на Урале объект промышленной золотоносности, сформировавшийся в связи с поздней коллизией (260 ± 10 млн. лет). Подчеркивая мантийный характер источника рудного вещества, они вместе с тем считают, что рудное вещество в процессе коллизии поступало непосредственно из мантии по «подновленным» тектоническим разломам. Но сравнительный анализ состава и условий залегания золото-теллуридных руд Гагарского месторождения и колчеданных руд соседнего Мезенского месторождения позволил В.А. Филиппову обосновать иную точку зрения на источник рудного вещества. По его мнению, образование золото-теллуридных руд Гагарского месторождения связано с коллизионным метаморфизмом колчеданоносной шовной зоны, проявившимся в форме диафтореза.

Адрес для переписки: В.А. Филиппов. E-mail: hunter@planet-a.ru



Фиг. 1. Участок Главного гранитного пояса Урала.

1 – граниты лейкократовые; 2 – плагиограниты, тоналиты, кварцевые диориты и гранодиориты; 3 – серпентиниты и апосерпентинитовые породы; 4 – амфиболиты апобазальтовые; 5 – сланцы биотит-кварц-плагиоклазовые и биотит-амфибол-кварц-плагиоклазовые с пачками мраморов; 6 – сланцы слюдисто-полевошпат-кварцевые и графит-слюдисто-кварцевые; 7 – известняки мраморизованные; 8 – Гагарское золоторудное месторождение; 9 – колчеданные залежи Мезенского месторождения (I, II); 10 – разрывные нарушения. Цифры в кружках – массивы: 1 – Бруснянский, 2 – Каменский, 3 – Курманский.

Тектонофизическая схема справа показывает: в результате бокового сжатия (а) и пластического течения (б) вещества пород, облекающих мегабудину (заштриховано), у торца последней возникает деформация растяжения (в).

Таблица 1. Средний химический состав пород Гагарского массива, мас. %

№ п.п.	<i>n</i>	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п
1	15	70.62	0.23	13.82	0.62	5.01	0.09	2.14	1.07	4.71	0.91	0.06	0.59
2	12	66.29	0.31	15.66	0.88	4.82	0.11	2.53	1.48	5.41	1.11	0.09	0.61
3	8	61.32	0.42	17.32	1.41	5.70	0.13	3.63	2.40	4.96	1.54	0.14	0.85
4	7	65.26	0.65	16.09	0.43	4.38	0.07	2.92	1.97	4.30	2.53	0.32	0.90
5	33	71.33	0.19	12.45	3.63	0.91	0.03	1.59	0.74	3.47	1.58	0.04	3.00

Примечание. 1 – плагиограниты; 2 – тоналиты; 3 – кварцевые диориты; 4 – гранодиорит-порфиры дайкового комплекса; 5 – сланцы-диафориты серицит-альбит-кварцевого состава. *n* – количество анализов.

Анализы выполнены в Центральной лаборатории Производственного геологического объединения “Уралгеология”.

Таблица 2. Физические свойства гранитоидов района Гагарского месторождения

Массив	γ-активность, мкр/час			Магнитная восприимчивость, 10 ⁻⁶ ед. CGSM		
	<i>n</i>	\bar{x}	S	<i>n</i>	\bar{x}	S
Гагарский	79	6.3	2.04	77	1420	893
Каменский	132	11	3.28	77	70	134
Бруснянский	113	13.3	3.4	41	258	247

Примечание. *n* – количество измерений; \bar{x} – среднее значение; S – среднеквадратическое отклонение.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Гагарское месторождение находится в шовной зоне (Коротеев и др., 2009), разделяющей мегаблоку Главного гранитного пояса Урала (фиг. 1). Шовная зона, очевидно, представляет собой сильно дислоцированный реликт позднеордовикско–раннесилурийского рифта, существовавшего на восточной континентальной окраине Урала. Она описывалась ранее как Асбестовско-Ключевская зона смятия (Филиппов, 2000). Осадочные и вулканогенные породы зоны, метаморфизованные в условиях амфиболитовой и эпидот-амфиболитовой фаций, представлены апобазальтовыми амфиболитами, кристаллическими сланцами биотит-амфибол-кварц-плагиоклазового состава и мраморами. Среди них залегают маломощные тела сульфидных руд с признаками отложения в мелководных водоемах, описанные как Мезенское колчеданное месторождение (Филиппов, 2000).

На участке, где выходы рифтогенных отложений разделяют каменноугольные Каменский и Бруснянский массивы гранитоидов, локализовано Гагарское месторождение. Оно заключено в одноименном массиве плагиогранитов, тоналитов и кварцевых диоритов, имеющем в плане форму линзы, вытянутой в северо-восточном направлении, размером 900 × 400 м (фиг. 2).

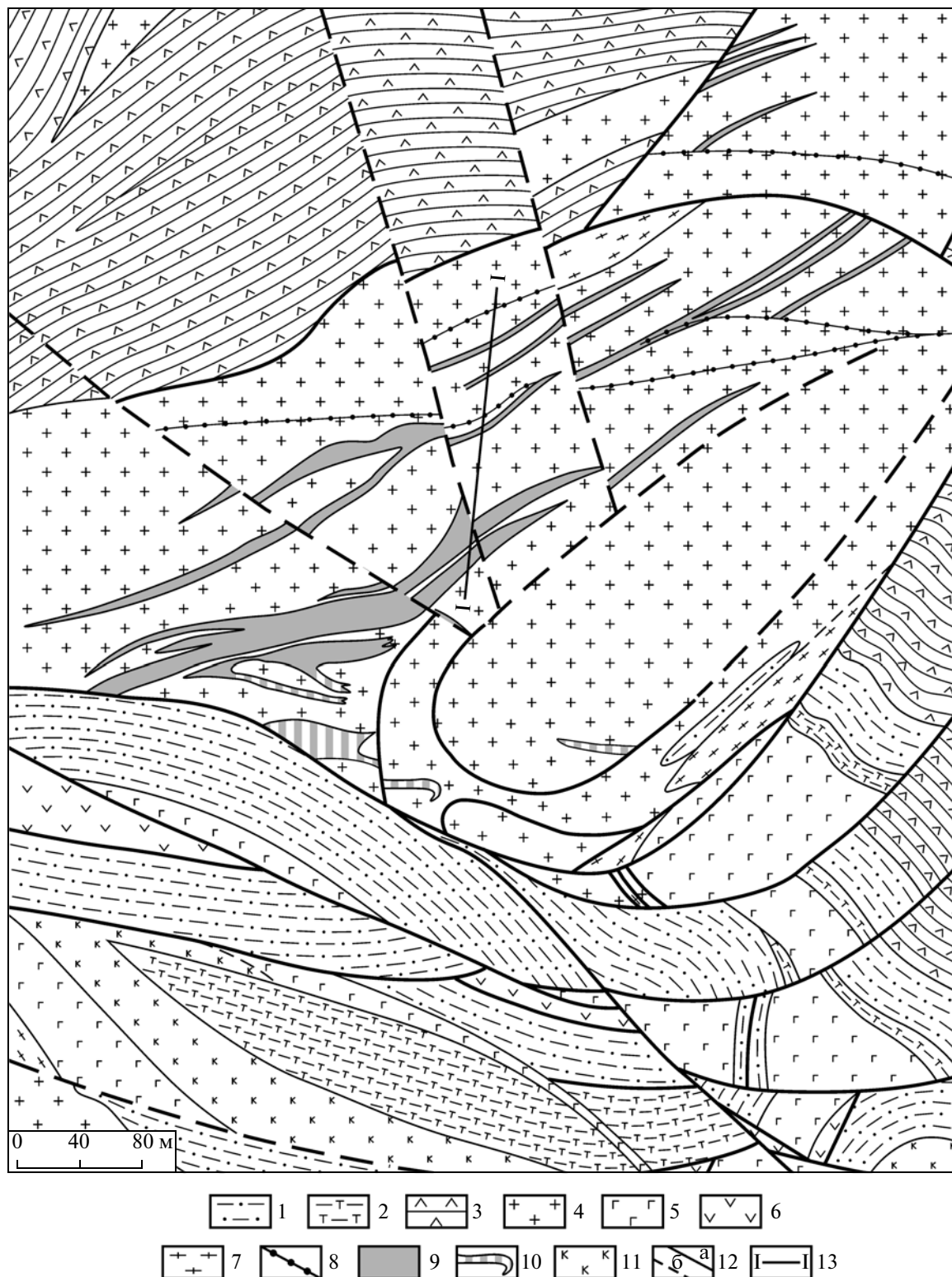
Преобладающий химический состав пород Гагарского массива отвечает плагиогранитам, которые участками переходят в тоналиты и кварцевые

диориты (табл. 1)¹. Тоналиты среди плагиогранитов присутствуют также в соседних Каменском и Бруснянском массивах. По возрасту эти массивы, очевидно, близки. Полученная нами самая древняя радиоизотопная датировка Гагарского массива К-Аг-методом по амфиболу (300 млн. лет) находится на рубеже раннего и среднего карбона и соответствует герцинскому этапу метаморфической активизации мигматитовых комплексов Урала (Кейльман, 1974). Более молодые датировки (247–269 млн. лет по биотиту и серициту)² дают возраст последующих метасоматических процессов, вызвавших образование золотых руд раннего этапа.

Гагарский массив содержит большое количество ксенолитов амфиболитов, биотитовых и амфиболовых плагиогнейсов, имеющих форму линз, прослоев мощностью от 1 см до 5–10 м. Пересекающие массив дайки гранодиорит-порфира приурочены к сколовым трещинам субширотного и северо-восточного простираний. Они не содержат следов рудной минерализации и сопутствующего метасоматоза и возможно являются пострудными. Данные табл. 2 показывают, что породы массива по сравнению с породами Каменского и Бруснянского массивов обладают значительно более низкой радиоактивностью и бо-

¹ При описании Гагарского месторождения эти породы, связанные между собой постепенными переходами, будем сокращенно называть “плагиогранитами”.

² Определения выполнены в Институте геологии и геохимии УНЦ АН СССР, аналитик – Б.А. Калеганов.



Фиг. 2. Геологический план Гагарского месторождения.

1 – песчаники, сланцы слюдисто-полевошпат-кварцевые и графит-слюдисто-кварцевые; 2 – метатUFFы дацит-андезитового состава; 3 – амфиболиты апобазальтовые; 4 – плагιοграниты, тоналиты, кварцевые диориты; 5 – диабазы, габбро, диоритовые порфириты и пироксениты расслоенных интрузий, захваченные амфиболитизацией; 6 – апосерпентиниты; 7 – плагиигнейсы; 8 – дайки гранодиорит-порфира; 9 – золотоносные сланцы-диафториты серицит-альбит-кварцевого состава; 10 – аргиллизит-кварцевые тела второго этапа оруденения; 11 – кварц-каолинитовые породы верхней части метасоматической колонны; 12 – разрывные нарушения: установленные (а), предполагаемые (б); 13 – разрез (I–I) представлен на фиг. 3.

лее высокой магнитной восприимчивостью. Эти различия вызваны особенностями состава акцессорных минералов: присутствием ортита в Каменском и Бруснянском массивах и магнетита – в Гагарском.

Таким образом, рудовмещающий Гагарский массив обладает рядом специфических черт, отличающих его от более крупных близлежащих тел гранитоидов. Эти черты вызваны особенностями генезиса и положения в геологической структуре, которые и предопределили его рудоносность. В этой связи замечание о генетической связи Гагарского месторождения с Каменским массивом (Ферштатер и др., 2010) является необоснованным.

Непосредственно к юго-востоку от Гагарского массива в мелких тектонических блоках присутствуют фрагменты более древней расслоенной интрузии, первоначально состоящей из диоритовых порфириров, диабазов, габбро и пироксенитов (фиг. 2). Эти породы подверглись амфиболитизации, частично хлоритизированы, серицитизированы и замещены джаспероидным кварцем. Пироксениты повсеместно превращены в актинолитовые и хлорит-актинолитовые породы. Расслоенная интрузия внедрялась в осадочные породы позднего ордовика. Возможный возраст – ранний силур. Признаки расслоенности стимулировали попытки определить в описанных фрагментах содержание ЭПГ. Было выполнено около 20 определений в двух лабораториях: 1) в Институте геологии и геохимии УНЦ (аналитик – Ю.А. Волченко) и 2) в SGS Lakefield Research Africa в Йоханнесбурге (ЮАР). В результате в блоке диоритовых порфириров, захваченных выветриванием, протяженностью 80 м, в обеих лабораториях было определено одинаковое содержание суммы Pt и Pd – 0.10–0.15 г/т с той лишь разницей, что в определениях Ю.А. Волченко в этой сумме преобладает Pd, а в определениях лаборатории из ЮАР – Pt. Повышенное содержание ЭПГ сопровождается повышенным содержанием Au – 0.05–0.07 г/т, до 0.4 г/т в серицитизированном участке диоритового порфирита.

С запада и востока Гагарский массив окружают амфиболиты. Они характеризуются повышенным содержанием MgO – от 7.76 до 13.47 мас. %. Вероятно, базальты, по которым они образовались, были комагматичны расслоенной интрузии.

Гагарский массив и расслоенная интрузия расположены на гравитационной ступени. Ее продолжение к юго-востоку и далее к югу совпадает с осью зоны смятия, обрамляющей Бруснянский массив. Последний представляет собой относительно жесткую структуру повышенной плотности. Равномерно удаленная от его выхода гравитационная ступень, очевидно, совпадает с контурами массива на глубине под разуплотненным

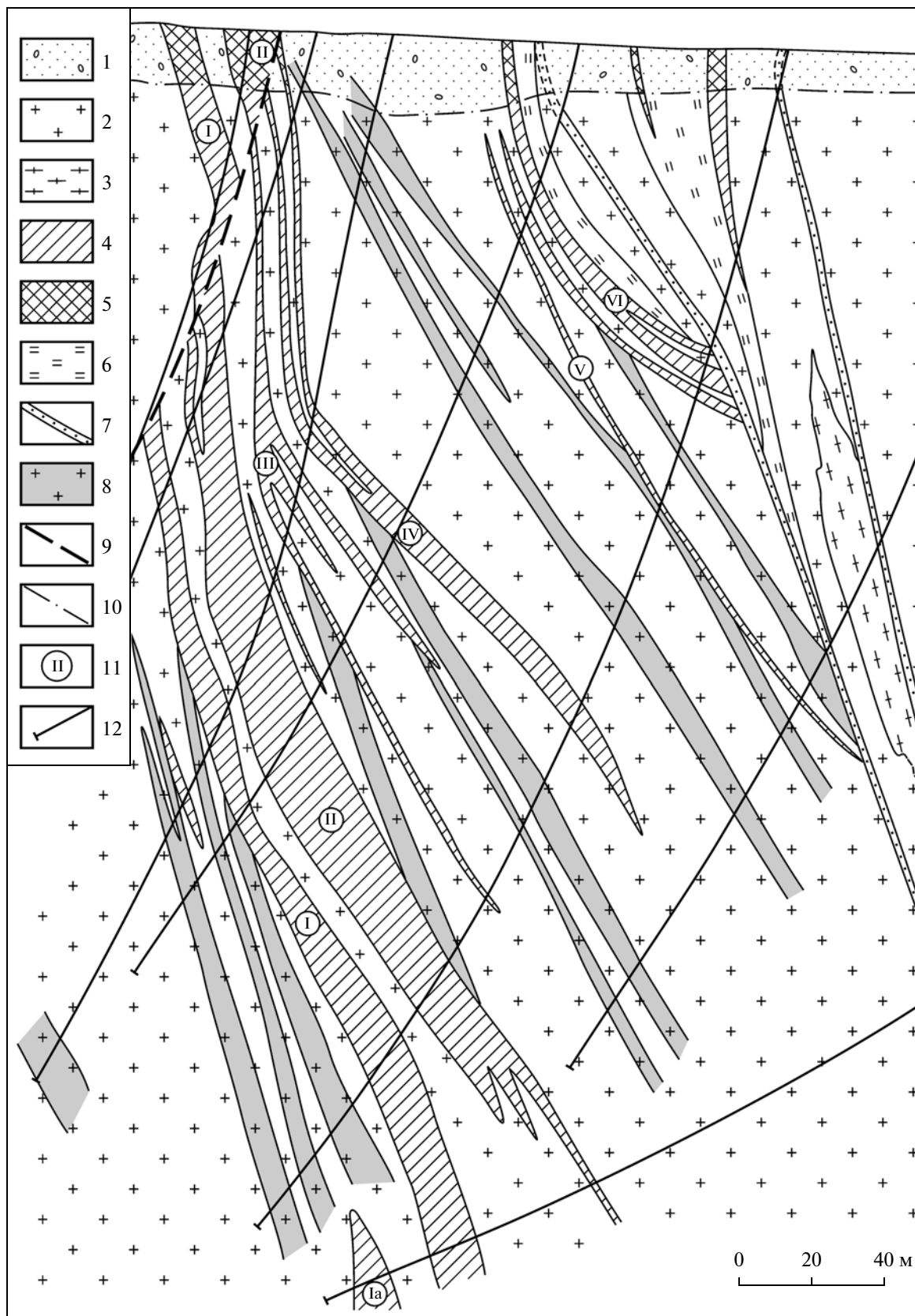
меланжем из мелких пластин кристаллических сланцев. Массив имеет в плане форму эллипса. Изученные контакты его с вмещающими породами – тектонические и сопровождаются протрузиями серпентинитов. Эти факты, наряду с приведенными выше геофизическими данными, позволяют рассматривать Бруснянский массив как мегабудину (фиг. 1).

ЗОЛОТО-ТЕЛЛУРИДНЫЕ РУДЫ

Золото-теллуридные руды раннего этапа образования месторождения выходят на дневную поверхность и до глубины 20–50 м захвачены процессами выветривания. Поэтому подразделяются на окисленные и первичные. В последних заключено 97% запасов Au. Они залегают в центральной части массива плагиогранитов и представлены в основном сланцами-диафторитами серицит-альбит-кварцевого состава, содержащими вкрапленную сульфидную и теллуридную минерализацию.

Форма основных рудных тел – пластообразная. Мелкие рудные тела – линзовидной формы. Мощностные основные рудные тела достигает 40 м, протяженность – 350 м. Падение крутое северо-западное (фиг. 3). По падению рудные тела прослежены до глубины 340 м и остаются неоконтуренными. Наиболее крупные из них содержат ксенолиты биотитовых плагиогнейсов, образованных по амфиболитам под воздействием гранитизации (Маракушев и др., 2002). Эти ксенолиты в различной степени серицитизированы и золотоносны. В редких случаях в них устанавливается высокое содержание Cu (до 0.8 мас. %) и Zn (до 0.3 мас. %). Золотоносными могут быть и вмещающие плагиограниты, захваченные серицитизацией и окварцеванием. Во всех случаях границы рудных тел – нечеткие и устанавливаются путем опробования. Часто рудные тела расположены вдоль контактов ксенолитов плагиогнейсов и амфиболитов с плагиогранитами. Очевидно, ксенолиты выполняли здесь роль флюидопроводников.

Золотоносные сланцы-диафториты образовались в результате перекристаллизации плагиогранитов и связаны с ними постепенными переходами. Перекристаллизация сопровождалась приносом кремнезема, калия и выносом некоторого количества Fe, Mn, Ca, Mg и Na (табл. 1). На этом основании золотоносные сланцы считаются метасоматитами. По соотношению главных породообразующих минералов они подразделяются: от серицит-кварцевых до кварц-альбитовых и альбит-кварц-серицитовых метасоматитов (фиг. 4). К новообразованным минералам в них, помимо серицита, относятся бурый биотит (не более 5%) и кальцит (в среднем около 0.8%). Распространенные текстуры: сланцеватая, полосчатая, blastomylonitовая (фиг. 5). Согласно со сланцева-



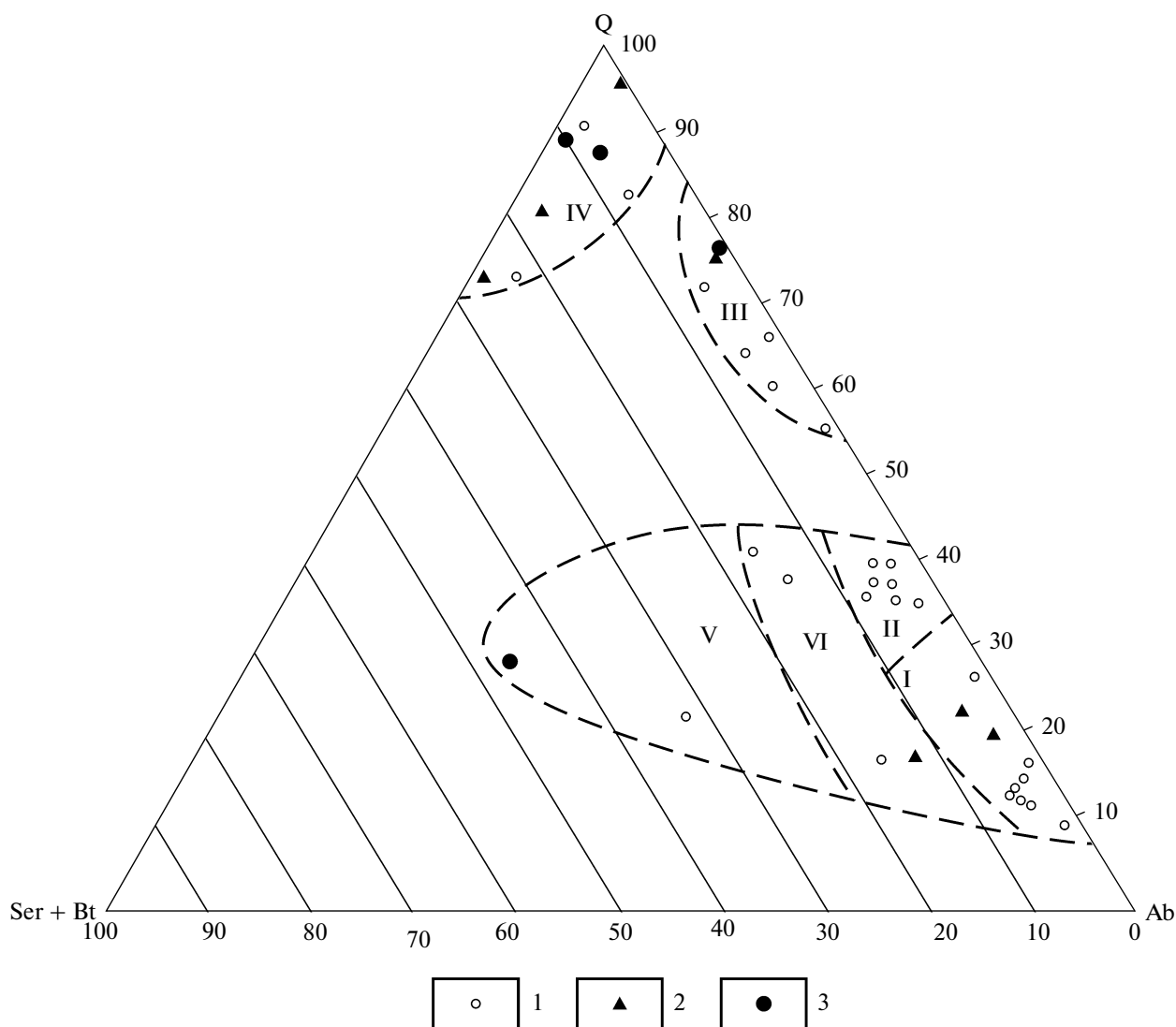
← **Фиг. 3.** Разрез зоны золото-теллуридного оруденения. Гагарское месторождение.

1 – кора выветривания; 2 – плагиограниты, тоналиты, кварцевые диориты; 3 – биотитовые плагиогнейсы; 4 – золото-теллуридные руды; 5 – окисленные руды; 6 – безрудные серицит-альбит-кварцевые сланцы-диафториты; 7 – дайки гранодиорит-порфира; 8 – участки с аномальным содержанием Zn ($20-50 \times 10^{-3}$ мас. %); 9 – предполагаемое разрывное нарушение; 10 – нижняя граница коры выветривания; 11 – номера рудных тел; 12 – стволы разведочных скважин, 1983–1987 гг.

тостью ориентированы цепочки гипидиоморфно-зернистого пирита и извилистые полосы серицита (фиг. 6). Пирит является самым распространенным сульфидом в метасоматитах (около 6 мас. %). В некоторых случаях полосчатая текстура метасоматита

не связана со сланцеватостью, а унаследована от пород, подвергшихся гранитизации (фиг. 7).

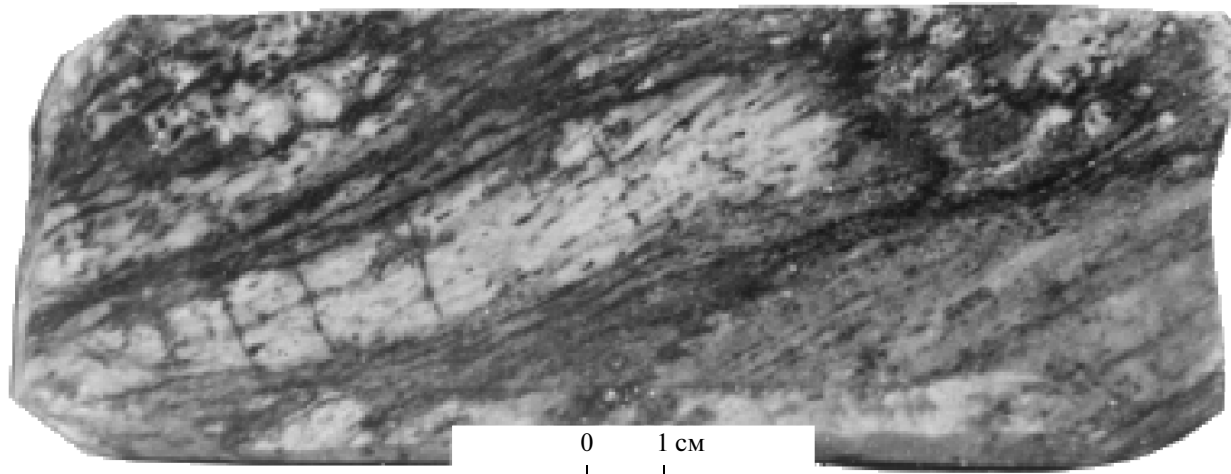
Наиболее богатые руды соответствуют по минеральному составу серицит-кварцевым метасоматитам с содержанием кварца 70–95%. Метасо-



Фиг. 4. Диаграмма минерального состава первичных руд Гагарского месторождения.

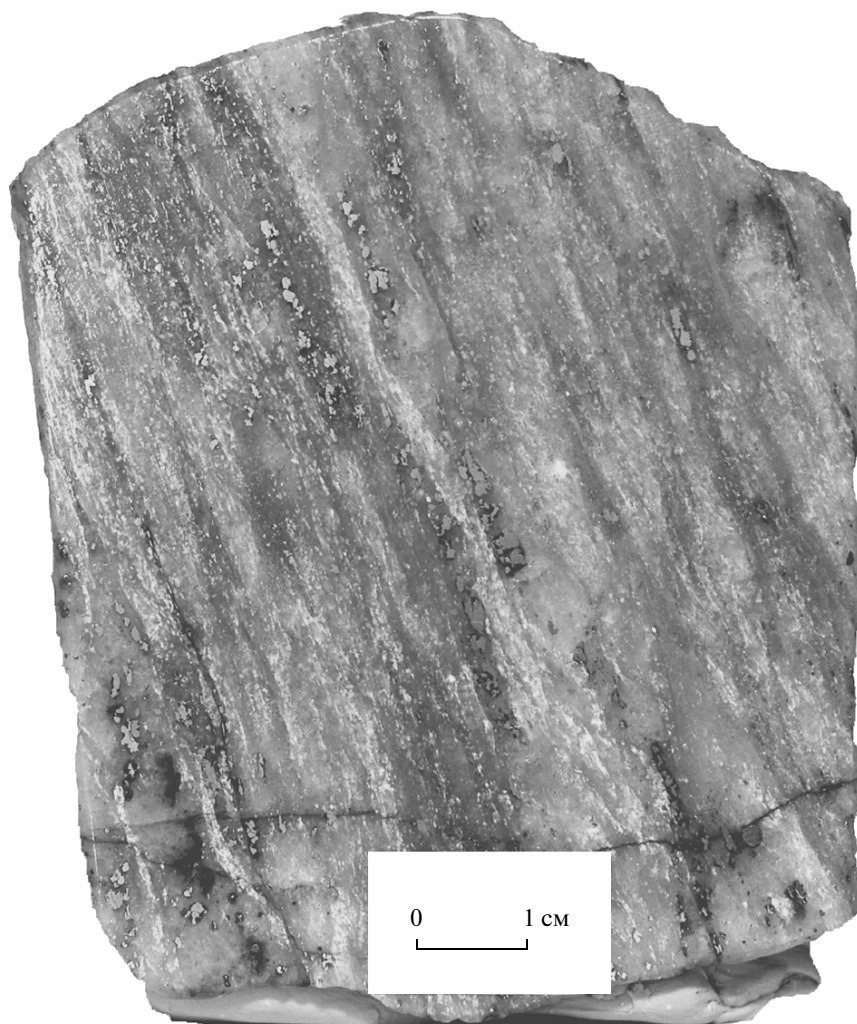
Q – кварц; Ab – альбит; Ser – серицит; Bt – биотит. I – плагиограниты; II–V – метасоматиты: II – кварц-альбитовые и серицит-кварц-альбитовые, III – альбит-кварцевые, IV – серицит-кварцевые и серицит-альбит-кварцевые, V – кварц-серицит-альбитовые и альбит-кварц-серицитовые; VI – биотитовые плагиогнейсы.

1–3 – содержание Au в пробах (г/т): 1 – 0.5–4, 2 – 4–10, 3 – >10.



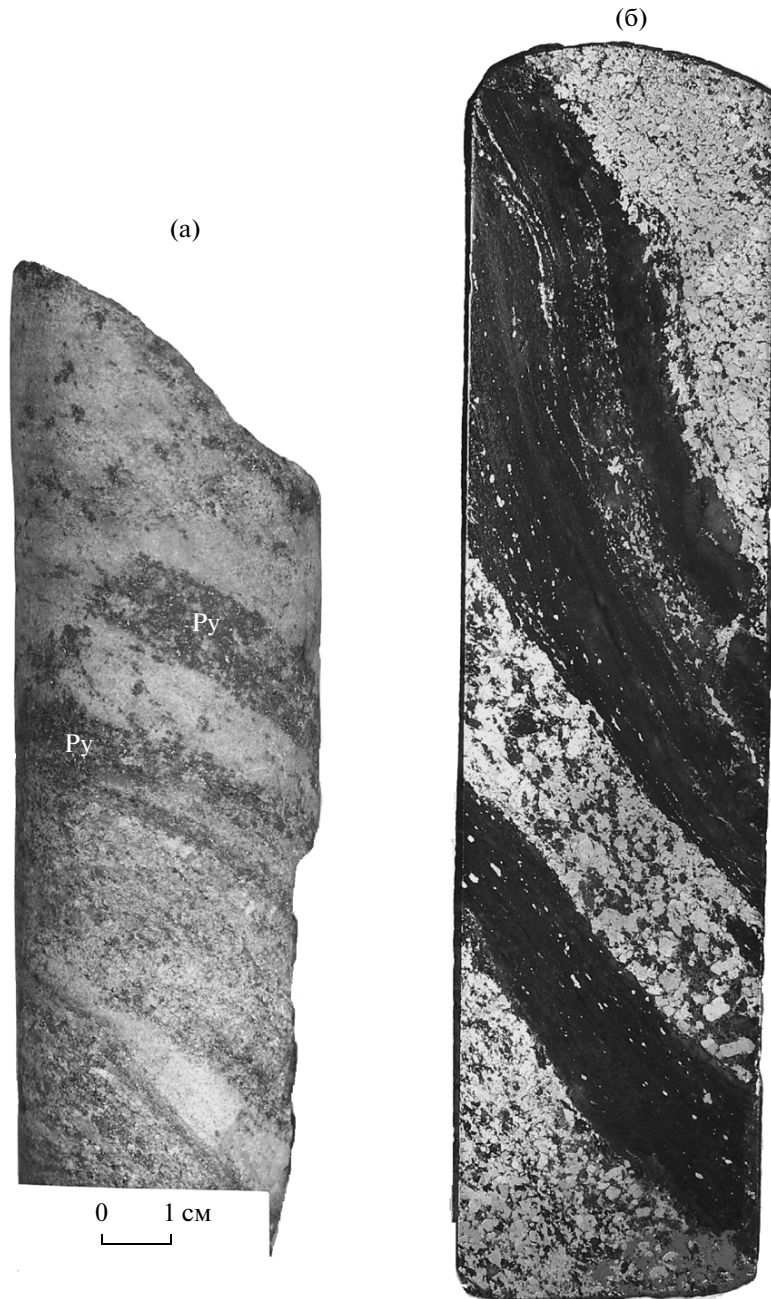
Фиг. 5. Блaстoмилoнитoвaя тeкстурa в квaрц-aльбитoвoм метaсoмaтитe.

В цeнтpe oбрaзцa cвeтлaя линзoвиднaя бyдинa рaзмeрoм 9×1.5 см, oкрyжeннaя выдeлeниями нoвooбрaзoвaннoгo бyрoгo биoтитa. Тeмнe пoпeрeчныe трeщины в бyдинe выпoлнeны пиритoм трeтьeй гeнeрaции. Сквaжинa 536, глyбинa 57.9 м.



Фиг. 6. Сeрицит-квaрцeвoй метaсoмaтит с вкрaплeнникaми пиритa.

Сeрицит прeсyтствyeт в бoлee cвeтлoкрaшeннoмy yчacткy пoрoды, имeющeмy фoрмy пoлocoк и линз. Тeмнe пятнa cooтвeтствyют мeлким yглyблeниям нa пoвepхнoсти oбрaзцa, oбрaзoвaвшимcя при пoлирoвкe. Сквaжинa 14 к, глyбинa 20.1 м.



Фиг. 7. Образец (а) серицит-кварц-альбитового метасоматита с полосчатыми агрегатами пирита (Py). Залеченный альбитом и кварцем обрыв верхней пиритовой полоски свидетельствует о том, что полосчатая текстура метасоматита унаследованная. Скважина 542, глубина 254 м. Образец (б) полосчатой медно-цинковой руды с черными безрудными прослоями. II мезенская залежь, скважина 864, глубина 133.9 м.

матиты такого состава образуют в рудных телах среди разновидностей, в которых альбит преобладает, полосы и линзы толщиной в несколько дециметров. В западной части месторождения они переходят местами в слабо оруденелые вторичные кварциты светло-серой окраски.

Минеральный состав гагарских руд изучался в Институте геологии и геохимии УНЦ (Сазонов и др., 1985), в Уральской геологосъемочной экс-

педиции (Г.И. Блиновой, З.М. Смердиной) и в ЦНИГРИ (Р.С. Антонюк, С.М. Сандомирской). Состав теллуридов, по данным изучения в названных организациях, несколько различен из-за разных методов применявшейся диагностики. Наиболее достоверные определения с применением рентгеноспектрального микроанализа выполнены в Институте геологии и геохимии УНЦ (табл. 3). При исследовании в ЦНИГРИ обнару-

Таблица 3. Химический состав теллуридов, по данным рентгеноспектрального микроанализа, мас. %

№ образца	Te	Ag	Au	Fe	Pb	Bi	Cu	S	Sb
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Алтаит (PbTe)</i>									
512/250.4	37.59	0.93	0.36	0.81	59.49	0.54	0.08	0.16	–
<i>Фробергит (FeTe₂)</i>									
512/292.0	82.94	0.09	0.00	17.27	0.00	0.11	0.41	0.00	–
<i>Теллуровисмутит (Bi₂Te₃)</i>									
478/286.0	45.24	0.39	0.15	0.39	0.13	51.95	0.56	0.03	–
<i>Раклиджит (PbBi₂Te₄)</i>									
346/39.0	44.51	1.23	0.19	–	17.29	36.44	–	0.52	–
493/141.3	44.58	1.89	0.24	–	15.61	37.29	–	0.58	–
<i>Свинцово-висмутый теллурид</i>									
478/286.8	46.65	0.96	0.37	1.25	5.91	46.72	0.03	0.19	–
493/141.3	47.95	0.95	0.20	0.07	4.77	47.90	0.05	0.02	–
<i>Гессит (Ag₂Te)</i>									
512/250.4	39.89	58.39	0.00	0.34	0.00	0.27	0.50	0.05	–
»	41.48	56.83	0.00	0.32	0.00	0.19	0.48	0.02	–
<i>Сильванит (AgAuTe₄)</i>									
512/209.0	63.14	10.38	24.73	0.22	0.00	0.34	0.50	0.02	–
512/250.4	61.58	12.46	24.70	0.38	0.00	0.25	0.48	0.00	–
<i>Креннерит [(Au, Ag) Te₂]</i>									
346/39.0	64.68	5.73	28.93	–	–	–	–	–	–
<i>Теллур самородный</i>									
493/143.8	97.33	0.07	0.00	1.03	0.00	0.22	0.45	0.23	–
<i>Калаверит (AuTe₂)</i>									
347/103.0	55.77	2.04	41.00	1.11	0.00	0.36	0.61	0.35	–
<i>Нагиагит [AuPb₅(Te, Sb)₄S₅₋₈]</i>									
513/105.9	14.23	0.12	10.38	0.46	54.50	0.26	0.56	10.55	9.06

Примечание. Измерения проведены на рентгеновском микроанализаторе "JXA -5".
Аналитик – В.Л. Вигоров.

жена цинксодержащая шпинель – крейттонит. Этот метаморфогенный минерал был диагностирован как в первичных, так и в окисленных рудах.

По данным изучения в Институте геологии и геохимии УНЦ (Сазонов и др., 1985), рудная минерализация раннего этапа образовалась в течение трех последовательных стадий и включает четыре минеральных ассоциации. Первая стадия представлена одной минеральной ассоциацией: пирротин-халькопирит-пиритовой, преобладающей по объему рудных минералов (до 70%). В порядке убывания количества в ней наблюдаются: пирит, пирротин, халькопирит, сфалерит. Последний – редок.

Пирит (Пи-1) выделяется в виде бесформенных зерен и агрегатов зерен, часто сопровождается каемками хлорита, содержит многочисленные вроски нерудных минералов, пирротина и халькопирита. Пирротин в виде самостоятельных зерен встречается чаще халькопирита, иногда является преобладающим минералом ассоциации.

Отмечено, что наиболее часто пирротин встречается вблизи измененных амфиболитов.

Вторая стадия рудной минерализации объединяет вторую и третью минеральные ассоциации, появление которых отчетливо связывается с диафторезом, сопровождавшемся кварц-серицитовым метасоматозом. Вторая минеральная ассоциация – пирит-халькопиритовая, образует более 20% объема рудной минерализации. Пирит (Пи-2) – мелкие (0.5 мм и менее) кристаллы кубооктаэдрического облика в нерудной массе, свободные от включений. Халькопирит (Хп-2) – выделения (0.5 мм и менее) в нерудной массе, обычно интерстициальные. Отмечены сростания их с пиритом и гесситом.

Третья минеральная ассоциация определяет продуктивность руд, хотя и представляет не более 1–2% всего объема рудной минерализации. Преобладающий минерал ассоциации – сфалерит (Сф-2), образующий зерна неправильной формы, иногда прожилковидные выделения размером до нескольких миллиметров. Сфале-

рит маложелезистый и с высоким содержанием Cd. Его модальный состав в 18 изученных зернах (мас. %): Zn – 64.0, S – 29.3, Fe – 4.16, Cd – 2.29. Отмечена неоднородность распределения Fe, выражающаяся в плавном снижении его содержания к периферии зерен. Галенит в ассоциации появляется эпизодически в виде неправильных зерен размером до 0.5 мм, иногда в сростаниях с алтаитом, халькопиритом. Алтаит самый распространенный теллурид ассоциации, в которую также входят: фробергит, теллуrowисмутит, раклиджит, свинцово-висмутовый теллурид промежуточного состава между раклиджитом и теллуrowисмутитом, гессит, сильванит, креннерит, самородный теллур. Среди золото-серебряных теллуридов сильванит встречается наиболее часто, по сравнению со стехиометрическим составом (Au – 24.19, Ag – 13.22, Te – 62.59%) он обеднен Ag. В единичных образцах обнаружены: петцит, калаверит, тетрадимит, нагиагит. Все теллуриды находятся в виде гнездовой вкрапленности мелких (не более 0.05 мм) зерен среди нерудных минералов, образуют сростки друг с другом. Иногда наблюдаются включения теллуридов и самородного Te в залеченных трещинах перекристаллизованного Пи-1. Очевидно, с такой формой нахождения теллуридов золота частично связано его повышенное содержание в гагарских пиритах – в среднем 6.9 г/т. К третьей минеральной ассоциации относятся и редкие находки самородного Au в ассоциации и сростаниях с теллуридами, галенитом и буланжеритом.

В третью стадию сформированы микропрожилковые выделения пирита, халькопирита и марказита, объединенные в четвертую минеральную ассоциацию, представляющую 8–10% объема рудных минералов. Характерны стустковые выделения таких микропрожилков (мощностью не более 0.1 мм), создающие пятнистую текстуру породы. В отдельных случаях в центре стустков оказываются сравнительно крупные (до первых миллиметров) выделения пирита, обнаруживающие при окислении колломорфную структуру.

Крейттонит [(Zn, Fe, Mg)(Al, Fe)₂O₄] образует мелкие (до 1 мм) зерна серовато-зеленого цвета. Его присутствие в технологических пробах гагарских руд подтверждено лазерным спектральным, а также рентгеноструктурным анализом (аналитик – С.М. Сандомирская). Он не принадлежит ни к одной из рассмотренных выше минеральных ассоциаций и его следует относить к специфическим акцессорным минералам гагарских плагиогранитов.

Содержание Au и Ag в первичных рудах крайне неравномерное. Намечаются три уровня содержания Au: 1) распространенный – 1–2 г/т; 2) повышенный – 3–5 г/т и 3) ураганный – до 100–300 г/т. Обогащенные Au участки второго уровня характе-

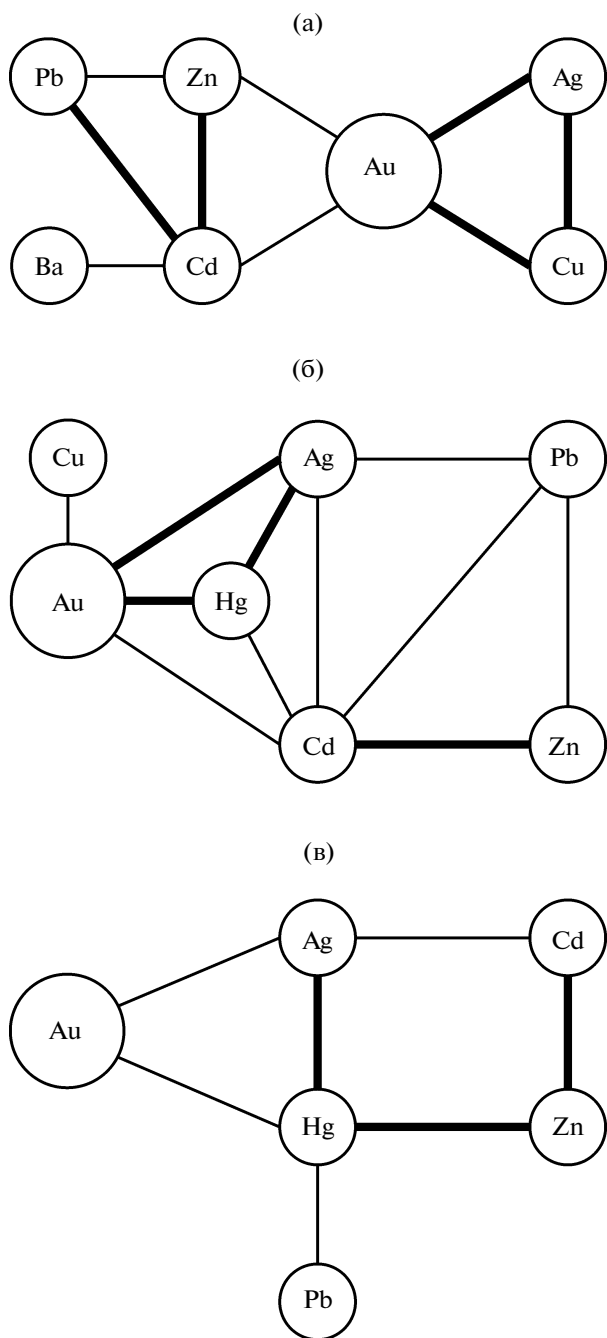
ризуются также высоким содержанием Ag – до 20–30 г/т. В ураганных пробах содержание Ag достигает 150–480 г/т. Среднее отношение Au : Ag = 1 : 3.8. Практически все Au и Ag в первичных рудах содержится в составе теллуридов: сильванита, гессита, креннерита, образующих очень тонкую вкрапленность. Это обстоятельство делает руды труднообогатимыми. Метод двухстадийной флотации, разработанный в ЦНИГРИ, позволяет достичь извлечения Au 91.4% и Ag 84.5%. Но технико-экономические возможности применения этого метода не определены, поэтому первичные руды до настоящего времени остаются в нераспределенном фонде.

По результатам спектрального и атомно-абсорбционного анализа золотоносные серицит-альбит-кварцевые сланцы характеризуются аномальными содержаниями Zn (около 30×10^{-3} мас. %), Pb (более 3×10^{-3} мас. %), Cd (около 1.6×10^{-3} мас. %), Hg (16×10^{-6} мас. %), повышенным содержанием Cr (6×10^{-3} мас. %) и высокими (>100%) коэффициентами вариации перечисленных элементов, что свидетельствует об участии их в рудообразующем процессе.

По мере развития метасоматического процесса, помимо изменения концентраций элементов, происходило изменение корреляционных связей между ними (фиг. 8). В биотитовых плагиогнейсах выделяются две триады взаимной корреляционной связи: 1) Au–Cu–Ag и 2) Pb–Zn–Cd, характерные для медноколчеданного и стратиформного полиметаллического оруденения. Появление в метасоматически-измененных плагиогранитах Hg ведет к разрушению этих триад. Возникает новая триада (Au–Ag–Hg). Положительная связь Au с Cu ослабляется, а в сланцах-диафторитах она полностью исчезает. В последних происходит обособление прочно связанной группы (Ag–Hg–Zn–Cd), что отражает возросшую активность Hg и Ag на заключительном этапе рудообразования. Золото в сланцах-диафторитах находится в тесной связи с Te, что подтверждается всем описанным выше составом рудообразующих минералов. Среднее содержание Te в сланцах-диафторитах составляет около 10.5 г/т³. На всех этапах метасоматоза сохраняется высокая корреляционная связь Zn и Cd, выражающаяся в накоплении Cd в сфалеритах.

Аномалии содержания Zn и Cu не только наблюдаются в рудных телах, но и сопровождают их в геологическом разрезе в виде параллельных полос (фиг. 3). Аномалия Pb на фиг. 3 не показана из-за малой ширины. Она прослеживается почти во всех сечениях в виде узкой (1–2 м) ленты, при-

³ По результатам анализа 30 проб в лаборатории Института геологии и геохимии УНЦ.



Фиг. 8. Схемы, показывающие изменение корреляционных связей между элементами по мере развития метасоматического процесса.

а – биотитовые плагиогнейсы (43 анализа); б – плагиограниты окварцованные и серицитизированные с сульфидной минерализацией (202 анализа); в – серицит-альбит-кварцевые сланцы-диафториты (33 анализа). Тонкая линия соответствует умеренной положительной корреляции ($R = 0.5-0.6$), жирная линия – сильной корреляции ($R \geq 0.7$). R – коэффициент корреляции Пирсона.

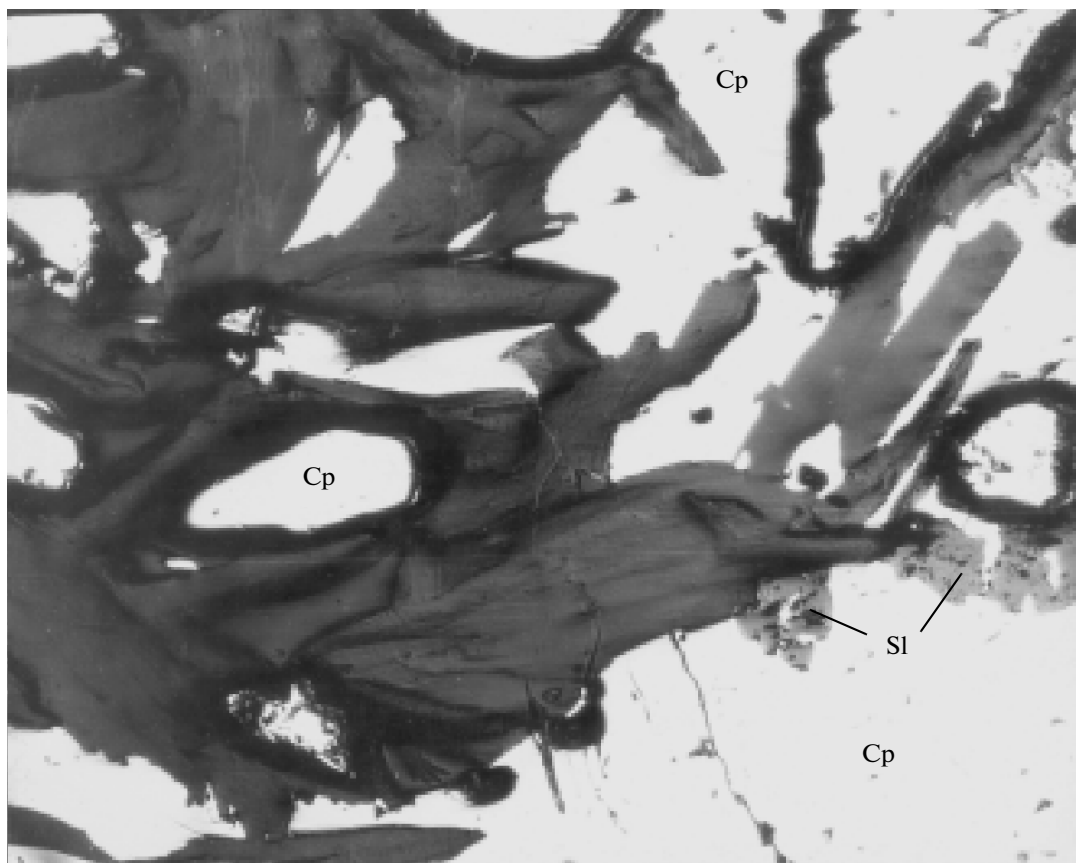
уроченной к кровле рудного тела II. Интенсивность аномалии до 30×10^{-3} мас. %.

На стадии поисково-оценочных работ была предпринята попытка определить в золото-теллуридных рудах содержание ЭПГ. Было выполнено около 20 определений пробирно-спектральным методом с предварительным получением серебряного королька. Содержание ЭПГ оказалось ниже предела чувствительности метода анализа. Только в одной пробе были обнаружены следы Pd. Но в угольном золотосодержащем концентрате, получаемом при добыче Au из окисленных руд способом подземного выщелачивания, содержание ЭПГ по результатам атомно-абсорбционного анализа 4-х проб в лаборатории ЦНИГРИ составило: Pt от 0.54 до 1.9 г/т, Pd от 0.78 до 3.35 г/т. При больших объемах добычи такие содержания, по нашему мнению, могут представлять практический интерес.

ЗОЛОТЫЕ РУДЫ ПОЗДНЕГО ЭТАПА

Золотые руды позднего этапа локализованы в плагиогранитах на южном фланге Гагарского массива (фиг. 2) и частично в диоритовых порфиритах. В этих породах они образуют залежь сложной формы, вытянутую в северо-западном направлении почти на 300 м и прослеженную до глубины 50 м. Руды представлены аргиллизит-серицит-альбитовыми метасоматитами, содержащими жилы и гнездообразные выделения кварца до нескольких метров в поперечнике. Аргиллизит – белый с характерным шелковистым блеском. Он состоит из гидрослюда и каолинита примерно в равных количествах⁴, образует псевдоморфозы по альбиту, пленочные выделения на стенках трещин и линзообразные тела мощностью до 0.5 м. Кварц – полупрозрачный светло-серый, практически без сульфидов, с содержанием Au до 0.5 г/т. Основная часть Au находится в метасоматитах с вкрапленностью пирита. Содержание Au весьма неравномерное и в среднем оно несколько ниже, чем в рудах раннего этапа. Заметно уменьшается также содержание Ag и Hg, а содержание Pb на порядок ниже, чем в рудах раннего этапа, что свидетельствует об уменьшении активности Te, который в гидротермальных рудообразующих процессах соединяется в первую очередь с Pb с образованием алтаита (Левицкий, 1982). Золото в рудах позднего этапа, по-видимому, свободное, вследствие чего в условиях коры выветривания гравитационная просадка его частиц привела к обеднению самых верхних участков залежи и заметной концентрации Au на глубинах от 5 до 20 м.

⁴ По данным термического и рентгеновского анализа в Институте геологии и геохимии УрО РАН, аналитики – О.Л. Галахова и В.Г. Петрищева.



Фиг. 9. Развитие хлорита (темные пластинки) по сфалерит-халькопиритовому агрегату. Cp – халькопирит; Sl – сфалерит. Увел. 90. I мезенская залежь, скважина 844, глубина 248.2 м.

Из-за отмеченного своеобразия состава руды позднего этапа отнесены авторами к аргиллизит-кварцевому типу. Развитие аргиллизитов и северо-западное простирание рудных тел характерно на Урале для золотого оруденения мезозойской тектоно-магматической активизации (Баранников, Угрюмов, 2003). На участке месторождения, где сходятся рудные зоны раннего и позднего этапа, локализовано наиболее богатое золотое оруденение. Здесь в скважине 513 был встречен зеленый биотит, сформировавшийся позже метаморфических минералов (Коротеев и др., 2009).

ГЕНЕЗИС

Помимо рассеянной вкрапленности и мелких агрегатов сульфидов в золото-теллуридных рудах Гагарского месторождения, в керне двух скважин были найдены включения массивного серного колчедана размером до 1 м. Низкое (до 0.2 г/т) содержание Au в этих включениях позволило рассматривать их как ксенолиты обычных серноколчеданных руд, которые, как правило, слабо золотоносны, в то время как основным носителем Au в колчеданных залежах Урала являются медно-цинковые руды

(Контарь, Либарова, 1997). Ряд других общих черт сближает тела золото-теллуридных руд с мезенскими колчеданными залежами, обнаруженными в 1986 г. на соседнем участке шовной зоны, в 4-х км к юго-востоку от Гагарского месторождения. Это – пластообразная форма рудных тел, низкое содержание в рудах As (всего около 0.001 мас. %) и Sb (менее 0.003 мас. %), повышение содержания Pb у кровли рудных тел, полосчатая текстура руд.

Полосчатые и массивные руды Мезенского месторождения образуют две залежи мощностью до 5 м среди биотит-амфибол-кварц-плагиоклазовых сланцев эпидот-амфиболитовой фации. Залежи прослеживаются по простиранию на 0.8 и 1.4 км и сопровождаются зонами серицитовых и хлоритовых сланцев-диафторитов мощностью до 30 м. Минеральный состав руд типичен для колчеданных месторождений Урала. Главные рудные минералы: пирит, сфалерит, халькопирит; второстепенные: пирротин, магнетит, галенит, марказит. Редко встречаются: блеклая руда, гематит, кубанит, валерийит, бравоит, молибденит, борнит, ковеллин, халькозин, пентландит, теллуриды (алтаит, гессит, волинскит, петцит, сильванит, тетрадимит, теллуровисмутит, фробергит), самородное золото и самородный висмут. Характерны следующие ассо-

Таблица 4. Результаты определения изотопного состава сульфидной серы

№ п.п.	Месторождение	№ пробы	$\delta^{34}\text{S}$, ‰
1	Мезенское	869/169.9	+3.7
2	»	853/153.45	+3.8
3	»	М-4556	+6.2
4	Гагарское	Г-14877	+7.5
5	»	Г-14918	+7.8
6	»	Г-12466	+8.6

Примечание. Аналитик – А.И. Степанов.

циации минералов: халькопирит–сфалерит, магнетит–пирротин–халькопирит, галенит–молибденит–теллуриды. В трех случаях встречена ассоциация галенит–теллуриды–свободное золото.

Хлоритизация и серицитизация мезенских руд на стадии диафореза сопровождалась развитием сланцеватости и связанной с ней полосчатой текстуры. Для последней характерна согласная со сланцеватостью строгая линейная вытянутость рудных полосок толщиной до 1 см и рафинированность зерен сульфидов в них от мелких безрудных включений. Такого рода полосчатые руды, внешне напоминающие гагарские руды аналогичной текстуры, распространены в первой залежи, в то время как во второй залежи участками сохранилась седиментационная полосчатость, показанная на фиг. 7. К результатам диафореза относится также нередко наблюдаемое развитие хлорита по халькопириту и сфалериту (фиг. 9).

Результаты определения К-Аг-методом возраста серицита с Мезенского месторождения (273–235 млн. лет; три определения, аналитик – А.И. Степанов) практически совпадают с результатами аналогичных определений возраста серицита и биотита с Гагарского месторождения. Они указывают на синхронность проявлений диафореза на обоих месторождениях и вероятный геологический возраст процесса – вторая половина пермского периода, когда на Урале происходили интенсивные деформации сжатия.

Самая характерная геохимическая особенность мезенских колчеданных руд – дефицит Au и Te. Среднее содержание Au в первой залежи 0.4 г/т; во второй – 0.5 г/т, а в других колчеданных месторождениях Урала, относящихся к верхнеордовикскому–нижнесилурийскому уровню, оно составляет 1 г/т (Контарь, Либарова, 1997). Отношение Se : Te в пирите определено нами для всего месторождения в целом как 7.8 : 1, на фоне от 2 : 1 до 4.2 : 1 в большинстве других уральских колчеданных месторождений (Прокин и др., 1992; Пшеничный, Андриянова, 1972). В Гагарском месторождении это отношение составляет 1 : 5.6.

Среди кристаллических сланцев, вмещающих мезенские руды, распространены порфиroidы с реликтами структуры дацитовых порфиров в виде

фенокристаллов плагиоклаза размером до 2 мм. Дацитовые порфиры могли быть протолитом, в результате анатексиса которого образовались плагиограниты, тоналиты и кварцевые диориты Гагарского массива. Образование золоторудных тел на месте заключенных в дацитовых порфирах колчеданных руд не могло произойти без дополнительного привноса Au и Te. Таким дополнительным источником явились колчеданные руды в боковых частях Брусаянской мегабудины. Имеются в виду мезенские залежи и другие рудные тела этого типа между Мезенским и Гагарским месторождениями, уничтоженные или невоскресшие эрозией. Из этих рудных образований Au и Te были мобилизованы метаморфизирующими растворами, участвующими в диафорезе, и отложены в зоне инверсии рН растворов в торцевой части мегабудины (Филиппов, 2000). Кислая реакция растворов в боковых частях мегабудины была вызвана кислотно-фильтрационным эффектом (Коржинский, 1964) в процессе тектонического сжатия. В торцевой части мегабудины, испытавшей синхронное растяжение из-за пластического течения облекающих пород (фиг. 1), действие кислотного фильтрационного эффекта прекращалось и растворы, взаимодействуя с вмещающими породами, приобретали щелочную реакцию. О том, что отложение теллуридов золота вызвано инверсией рН рудообразующих кислых растворов, свидетельствуют постоянное присутствие в золотоносных сланцах-диафоритах кальцита. В участках с повышенным и ураганным содержанием Au содержание кальцита возрастает и может достигать нескольких мас. %. На заключительном щелочном этапе метасоматоза в сланцах-диафоритах произошло и увеличение содержания кальцита в краевых частях зерен альбита, установленное с применением рентгеновского микроанализатора “JXA-5A” (аналитик – В.И. Глазырина.). Такое изменение состава альбита привело к концентрически-зональному погасанию его зерен в скрещенных николях. Следствием инверсии рН рудообразующих растворов явилось также увеличение доли Fe^{3+} в сланцах-диафоритах (табл. 1) и появление в них, наряду с кальцитом, чешуек новообразованного бурого биотита, обычно в сростках с Пи-2. Таким образом, по совокупности геолого-геохимических данных золото-теллуридные руды Гагарского месторождения следует относить к регенерированным (Шнейдерхен, 1958), возникшим за счет компонентов колчеданных руд, находившихся в зоне гранитизации и в соседнем участке шовной зоны. О вероятности такого генезиса свидетельствует и близость изотопного состава сульфидной серы Гагарского и Мезенского месторождений (табл. 4). Относительное обогащение гагарских руд тяжелым изотопом могло быть вызвано частичной ассимиляцией серы из метаморфизованных осадочных пород, присутствующих на участке месторождения. К влиянию

местных коровых источников следует также отметить аномально высокое содержание кадмия в гагарских сфалеритах. Описанные геологические условия образования золото-теллуридных руд Гагарского месторождения могли быть реализованы только в исключительных случаях и в этом причина нетрадиционного характера оруденения. Его аналог на Урале нам неизвестны.

Аргиллизит-кварцевые руды позднего этапа образовались за счет мобилизации Au из руд раннего этапа и вмещающих пород. При этом в рудах появились аномальные содержания Mo (до 0.0007 мас. %), совершенно не характерные для руд раннего этапа, и заметно увеличилось количество проб с аномальным содержанием Bi (до 0.0003 мас. %). Наиболее высокие содержания Bi (до 0.02 мас. %) выявлены в мелких золоторудных телах в северной части Бруснянского массива по скважинам 802, 866. В этих телах присутствует арсенипирит, и содержание As достигает 1 мас. %.

В 200 м к югу от выхода аргиллизит-кварцевых руд обнаружены тела каолинита мощностью до 40 м, северо-западного простирания (фиг. 2). Полупрозрачный (хрусталевидный) кварц образует в этих телах жилы и гнезда неправильной формы до нескольких дециметров в поперечнике. На глубине более 10 м в керне скважин глинистая у поверхности структура каолинита меняется на кристаллическую, что указывает на его гипогенную природу. Очевидно и подтверждено результатами изучения золоторудных месторождений на северо-востоке России (Наталенко и др., 2002), что по отношению к аргиллизит-кварцевым рудам Гагарского месторождения безрудные кварц-каолиновые породы южного фланга месторождения занимают более верхнее положение в метасоматической колонке, т.е. являются надрудными. Проблема состоит в том, что в пенепленизированной восточной зоне Урала, в которой почти повсеместно развита мезозойско-кайнозойская кора выветривания мощностью в десятки метров, гипогенные каолиниты часто ошибочно принимают за кору выветривания, из-за чего возможны пропуски золоторудных аргиллизит-кварцевых залежей.

Благодаря присутствию свободного Au и механической неоднородности из-за трещиноватости кварца, золотые аргиллизит-кварцевые руды благоприятны для добычи Au способом подземного выщелачивания, применяемым в последние годы на ряде рудников Урала. На Гагарском месторождении масштабы золоторудной аргиллизит-кварцевой минерализации относительно невелики, но при наличии в разрезе карбонатных пород, в условиях щелочной среды, ее роль может возрастать. При этом в составе аргиллизитов появляется монтмориллонит (Грязнов и др. 1995). Из изложенного также следует, что проблеме выявления на Урале промышленных золотых руд аргилли-

зит-кварцевого состава уделено недостаточно внимания, в чем полностью согласны с другими авторами (Баранников, Угрюмов, 2003).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Баранников А.Г., Угрюмов А.Н. Проблемы эндогенного золотого рудогенезиса мезозоя Урала // Литосфера. 2003. № 1. С. 13–26.
- Грязнов О.Н., Савельева К.П., Костромин Д.А. Золотоносные аргиллизиты Светлинского месторождения и кора их выветривания (Южный Урал) // Изв. вузов. Геология и разведка. 1995. № 5. С. 68–83.
- Кейльман Г.А. Мигматитовые комплексы подвижных поясов. М.: Недра, 1974.
- Контарь Е.С., Либарова Л.Е. Металлогения меди, цинка, свинца на Урале. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997.
- Коржинский Д.С. Режим кислотности при постмагматических процессах // Докл. сов. геологов на XXII сессии МГК. Проблема 5. М.: Недра, 1964. С. 9–18.
- Коротеев В.А., Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Поленов Ю.А. Шовные зоны Урала как интегральные перспективные рудоносные тектонические структуры // Геология руд. месторождений. 2009. Т. 51. № 2. С. 107–124.
- Левицкий В.В. Периодичность элементов и соединений в золотообразующих гидротермальных системах // Докл. АН СССР. 1982. Т. 226. № 4. С. 1003–1007.
- Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А. Проблемы формирования медно-никелевых сульфидных месторождений // Руды и металлы. 2002. № 5. С. 23–33.
- Наталенко М.В., Стружков С.Ф., Рыжов О.Б. и др. Геологическое строение и минералогия руд месторождения Биркачан, Магаданская область // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 37–52.
- Прокин В.А., Серавкин И.Б., Буслаев Ф.П. и др. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования. Екатеринбург: УрФО РАН, 1992.
- Пшеничный Г.Н., Андриянова Н.А. К геохимии селена и теллура в пиритах из эндогенного ореола рассеяния на Узельгинском медноколчеданном месторождении (Южный Урал). // Вопросы геологии восточной окраины Русской платформы и Южного Урала, вып. 19. Уфа: БашФАН СССР, 1972. С. 64–72.
- Рябинин В.Ф. Геология, окорудный метасоматоз Гагарского месторождения: Автореф. дис.... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1988. 20 с.
- Сазонов В.Н., Огородников В.Н., Коротеев В.А. и др. Месторождения золота Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН – УГГА, 2001.
- Сазонов В.Н., Рябинин В.Ф., Мурзин В.А. и др. Метасоматоз и оруденение золоторудного месторождения // Ежегодник – 1984. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1985. С. 118–121.
- Феритатер Г.Б., Холоднов В.В., Кременецкий А.А. и др. Золотоносные габбро-тоналит-гранодиорит-гранитные массивы Урала: возраст, геохимия, особенности магматической и рудной эволюции // Геология руд. месторождений. 2010. Т. 52. № 1. С. 65–84.
- Филиппов В.А. Оценка распределения элементов-примесей в пирите из рудных полей Урала // Геология и металлогения Урала. Екатеринбург: ООО “Уральская геологосъемочная экспедиция”, 2000. С. 171–183.
- Шнейдерхен Г. Рудные месторождения. М.: Изд-во иностр. лит., 1958.