

## КОНТАКТОВО-МЕТАМОРФИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТАШ-ЯРСКОГО КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНЫЙ УРАЛ)

### CONTACT-METAMORPHIC TRANSFORMATIONS OF THE TASH-YARSKY PYRITE-POLYMETALLIC DEPOSIT (SOUTHERN URALS)

**В. И. Сначёв**

**Vladimir I. Snachev**

Институт геологии  
Уфимского федерального  
исследовательского центра РАН,  
г. Уфа, Российская Федерация

Institute of Geology  
of the Ufa Federal Research Centre  
of the Russian Academy of Sciences,  
Ufa, Russian Federation

**М. В. Рыкус**

**Mikhail V. Rykus**

Уфимский государственный  
нефтяной технический  
университет,  
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum  
Technological University,  
Ufa, Russian Federation

В статье рассмотрено геологическое строение Таш-Ярского колчеданно-полиметаллического месторождения, расположенного в северной части Магнитогорской мегазоны вблизи крупного (около 300 км<sup>2</sup>) Ахунковского гранитного массива. Залегает оно среди девонских вулканогенных пород карамалыташской свиты. Рудная зона месторождения представлена серией субмеридиональных сульфидных жил, разделенных блоками слабодисбалансированных пород. Отмечается также более позднее субширотное расланцевание, генетически связанное со становлением Ахунковского массива. Петрографическое изучение роговиков позволило выделить ряд минеральных парагенезисов, содержащих кордиерит, гранат и биотит, которые установлены соответственно от контакта массива на расстоянии не далее 0,6–0,8; 1,2–1,5 и 2,3–2,5 км. На основе зависимости максимальной железистости сфалерита от температуры для руд получены высокие температуры метаморфизма (500–610 °С). По гранат-биотитовому и гранат-кордиеритовому термобарометрам для приближенных к массиву пород температура преобразования составляет 720–750 °С, а давление — 8,9–9,1 кбар. При удалении на 700–850 м от контакта гранитоидов значения температур уже не превышают 620–640 °С, а давление 5,3–5,4 кбар; на расстоянии 1,3 км соответственно — 550–560 °С и 4,6–4,7 кбар.

Установлено, что Таш-Ярское колчеданно-полиметаллическое месторождение возникло сингенетично с контрастно-дифференцированной риолит-базальтовой формацией карамалыташской свиты и в карбоне испытало контактовый метаморфизм под действием внедрившегося Ахунковского гранитного массива. В результате произошла почти полная перекристаллизация и частичная экстракция рудного вещества. На регрессивной стадии на фоне постепенно понижающихся температур отлагались поздние руды, имеющие полиметаллическую специализацию. Одна их часть рассеялась во вмещающих породах, а другая наложилась на более раннее оруденение.

The article considers the geological structure of the Tash-Yarsky pyrite-polymetallic deposit located in the northern part of the Magnitogorsky megazone near the large (about 300 km<sup>2</sup>) Akhunovsky granite massif. It lies among the Devonian volcanogenic rocks of the Karamalytashsky Formation. The ore zone of the deposit is represented by a series of submeridional sulfide veins separated by blocks of weakly schist rocks.

#### Ключевые слова

Таш-Ярское месторождение;  
Ахунковский массив; метаморфизм;  
регенерированные руды;  
температура; давление

#### Key words

Tash-Yarsky deposit; Akhunovsky  
massif; metamorphism; regenerated  
ores; temperature; pressure

A later sub-latitudinal schistosity, genetically related to the formation of the Akhunovsky massif, is also noted.

The petrographic study of the hornfelses made it possible to identify a number of mineral parageneses containing cordierite, garnet, and biotite, which are installed respectively from the massif contact at a distance no further than 0.6–0.8; 1.2–1.5 and 2.3–2.5 km. Based on the temperature dependence of the maximum iron content of sphalerite, high temperatures of metamorphism (500–610 °C) were obtained for ores. According to garnet-biotite and garnet-cordierite thermobarometers for rocks close to the massif, the transformation temperature is 720–750 °C, and the pressure is 8.9–9.1 kbar. With a distance of 700–850 m from the contact of granitoids, the temperature does not exceed 620–640 °C, and the pressure is 5.3–5.4 kbar; at a distance of 1.3 km, respectively — 550–560 °C and 4.6–4.7 kbar.

It was established that the Tash-Yarsky pyrite-polymetallic deposit formed syngenetically with the contrast-differentiated rhyolite-basalt association of the Karamalytashsky Formation and subjected contact metamorphism in Carboniferous under the influence of the Akhunovsky granite massif intrusion. As a result, almost complete recrystallization and partial extraction of ore material occurred. At a regressive stage, as a result of a gradual decrease in temperature, late ores with a polymetallic specialization were deposited. One part of ore minerals were scattered in the host rocks, and the other combined on earlier mineralization.

В последнее время все чаще ставится вопрос о происхождении сульфидного оруденения в экзоконтактовых частях гранитоидных интрузий [1–4]. Это связано, прежде всего, с решающей ролью выводов о его генезисе для поисков и разведки месторождений в приконтактовых зонах. Однако высокая степень контакто-метаморфических преобразований, широкие проявления разновозрастных деформаций и других поздних геологических процессов часто не позволяют ответить на этот вопрос однозначно [5–7]. Авторы провели рентгеноспектральное изучение химического состава ряда рудных и метаморфических минералов Таш-Ярского месторождения, что представляет интерес для решения проблемы его генезиса.

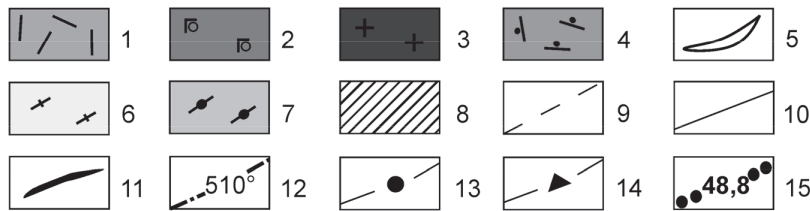
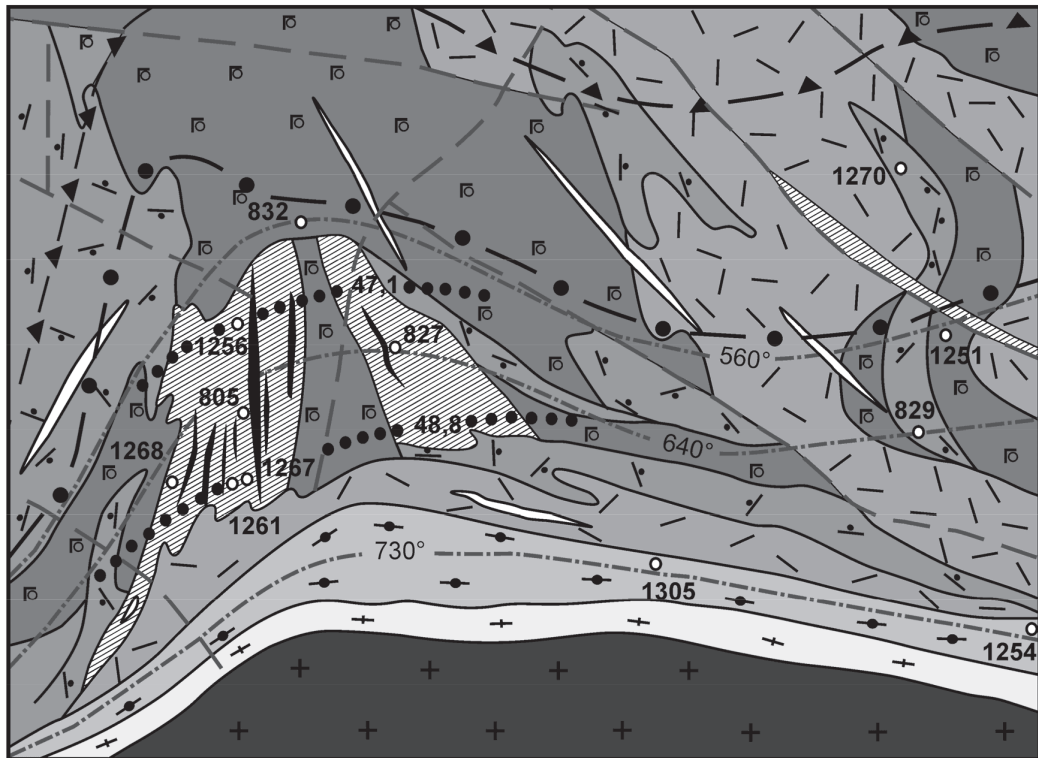
Таш-Ярское колчеданно-полиметаллическое месторождение располагается в северной части Магнитогорской мегазоны в пределах Учалинского рудного района (Первомайский участок). В геологическом строении рудного поля принимают участие девонские вулканогенные породы, относящиеся предположительно к карамалыташской свите: туфы, туфобрекчии риолитовых порфиров и базальтовых порфиров (рисунок 1). Широко распространены также субвулканические и интрузивные породы, среди которых кислые их разновидности имеют наибольшее распространение [8]. Верхнепалеозойский интрузивный комплекс сложен образованиями гранитоидной формации. Самым крупным из них является Ахуновский массив, представляющий собой

батолитообразное тело, обнаженное на площади около 300 км<sup>2</sup>, имеющее по геофизическим данным мощность 10–12 км и входящее, по-видимому, в состав Южно-Уральской зоны раннекаменноугольного рифта [9].

Рудная зона Таш-Ярского месторождения представлена серией субмеридиональных жил, выклинивающихся по падению и простирающуюся и разделенных блоками слабосланцеванных пород, не содержащих существенной минерализации. Падение зоны северо-западное под углом 60–80°. Отмечается также более позднее субширотное расланцевание, генетически связанное со становлением Ахуновского массива.

Главными рудообразующими минералами являются пирит, сфалерит и халькопирит, подчиненными — галенит, магнетит и пирротин [10]. Состав руд и окolorудных метасоматитов характеризуется наличием минералов метаморфизма: мусковита, биотита, кордиерита, граната и турмалина. Выделяются существенно пиритовые, пирит-сфалеритовые и пирит-сфалерит-халькопиритовые разности руд, обладающие жильными, полосчатыми, зернистыми и линзовидно-полосчатыми текстурами, развитие которых обусловлено процессами метаморфизма.

Изучение роговиков позволило выделить ряд минеральных парагенезисов, сменяющих друг друга с удалением от Ахуновской интрузии. Непосредственно к контакту прилегают огнейсованные породы, состоящие из роговой обманки, альбита, андалузита, силлиманита,



Условные обозначения: 1 — лавы, туфы и туфобрекчии липаритовых порфиров; 2 — миндалекаменные базальтовые порфириты; 3 — граниты; 4 — субвулканические кварцевые липаритовые порфиры; 5 — дайки диабазов; 6 — гранито-гнейсы; 7 — огнейсованные породы; 8 — метасоматиты; 9 — разрывные нарушения; 10 — геологические границы; 11 — рудные тела; 12 — изограды; 13 — область распространения граната; 14 — область распространения биотита; 15 — содержания железа в пирите второй генерации.

Белые кружки с номерами — колонковые скважины.

**Рисунок 1.** Схема геологического строения Таш-Ярского участка (составлена В.А. Гавриловым и др.)

биотита, граната и кордиерита. Ширина огнейсованного ореола не превышает 300–500 м. Парагенезисы, содержащие кордиерит, гранат либо биотит, обнаружены соответственно не далее 0,6–0,8; 1,2–1,5 и 2,3–2,5 км от массива (рисунок 1).

При рассмотрении взаимоотношений рудных контактово-метаморфических минералов следует отметить секущее положение биотита по отношению к пириту и сфалериту, а также пирит-сфалерит-халькопиритовые прожилки в гранате и биотите, что говорит о многостадийности формирования руд Таш-Ярского месторождения.

Авторами изучено распределение железа в главных минералах руд: пирите, сфалерите,

халькопирите и пирротине при помощи рентгеноспектрального микроанализатора «Камека» MS-46 на кафедре ОТМиМ УГАТУ (аналитик В.Ю. Герцманн) по методике, описанной Ю.С. Бородаевым [11]. Анализировались руды по профилю 1261–1268–1267, а также по скважинам 805 и 1256, пересекающим центральное рудное тело соответственно в южной, центральной и северной частях. На рудопроявлении Мартын, расположенном в 2 км восточнее месторождения, рудные минералы изучались по скважинам 1251 и 1270. Следует отметить также, что бедные вкрапленные руды обнаружены практически по всему Таш-Ярскому участку.

**Пирит.** По форме выделения и по содержанию железа различаются три генерации пирита: зональный с реликтовой колломорфной текстурой, перекристаллизованный и переотложенный.

Пирит первой генерации очень редок. Размеры его колеблются от тысячных до десятых долей миллиметра. Зональность проявляется в уменьшении содержания железа в зерне от периферии к центру на 0,4–0,5 %. Абсолютные содержания железа укладываются в узкую область (46,1–46,5 %).

Перекристаллизованный пирит, имеющий железистость 47,1–48,5 %, возник, вероятно, за счет колломорфного, так как распространение его ограничено только областью развития околорудных метасоматитов. Пирит других участков месторождения по минераграфическим характеристикам и явно меньшим содержаниям железа не может быть отнесен к перекристаллизованному. В то же время если перекристаллизованный пирит южной части центральной рудной линзы (профиль скв. 1268–1261–1267) имеет максимальные значения содержания железа, то пирит крайней северной части (скв. 1256) — минимальные (рисунок 1). На рудопоявлении Мартын железистость пирита равна 46,9–47,4 %. Следовательно, содержания железа в перекристаллизованном пирите обнаруживают довольно четкую зональность, выраженную в их закономерном падении с удалением от контакта Ахуновской интрузии.

Переотложенный пирит, интервал железистости которого составляет 46–46,7 %, распространен на всей площади участка и образует вместе с другими более поздними мине-

ралами рассеянные прожилково-вкрапленные руды. Зональность по содержанию железа в зернах пирита этой генерации не обнаружена, так же как и зональность относительно контакта массива.

**Сфалерит.** По взаимоотношениям с контактово-метаморфическими минералами (пересечения биотитом сфалерита, прожилки сфалерита в гранате) было выделено две генерации сфалерита, различающиеся и по содержанию в них железа.

Первая генерация, образовавшаяся под действием теплового поля гранитного массива и встречающаяся нередко в ассоциации с перекристаллизованным пиритом, тяготеет к центральным частям рудных тел и содержит от 0,6 до 7 % железа. Подобно пириту второй генерации, железистость сфалерита в северном направлении закономерно падает, и на отрезке в 500 м (центральное рудное тело) разница составляет около 6,4 %.

Отдельные зерна сфалерита первой разновидности характеризуются зональным распределением железа. Центральные части зерен обладают пониженными его содержаниями; к периферии железистость сфалерита заметно возрастает. На основе зависимости максимальной железистости сфалерита от температуры [12] для руд Таш-Ярского месторождения получены высокие температуры преобразования ( $T = 500–610\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (таблица 1, рисунок 2), что заметно выше первичных физико-химических параметров рудоотложения [13]. Они практически полностью совпадают с аналогичными данными, полученными для тех же частей рудных тел методом математического моделирования [14].

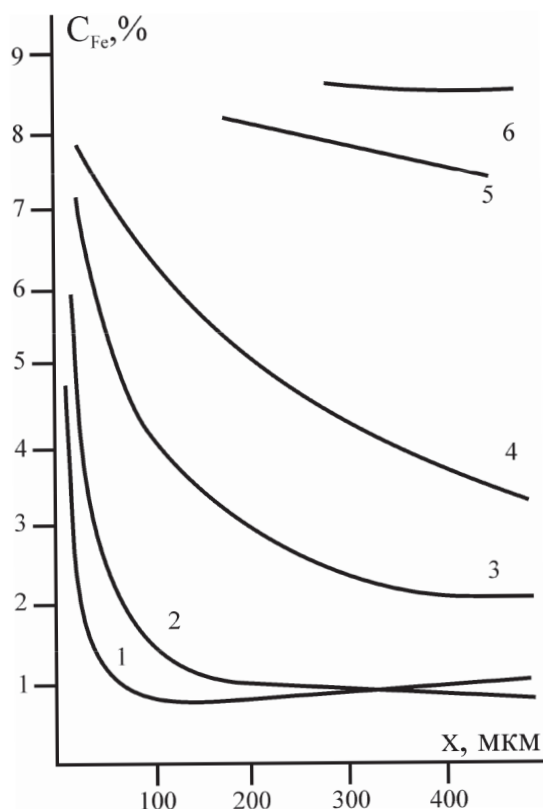
**Таблица 1.** Температура и длительность преобразования руд Таш-Ярского месторождения

№	Удаленность от массива, м	Содержание железа на контакте пирита и сфалерита, %	Начальное содержание железа и сфалерита, %	Температура преобразования руд, °С		Расчетное время преобразования руд, тыс. лет	
				по [14]	по данным моделирования на ЭВМ	по [14]	по данным моделирования на ЭВМ
1	1200	5,4	0,9	500	520–540	1000	900
2	950	6,4	0,9	530	530–570	600	450–550
3	700	7,2	0,9	550	565–590	450	500
4	600	7,6	0,9	570	570–600	350	300
5	520	8,7	0,9	600	610–620	280	240
6	480	9,0	0,9	610	600–620	160	200

Сфалерит второй генерации, секущий минералы контактового метаморфизма, рассеян во вмещающих породах месторождения и несколько обеднен железом, содержание которого не превышает 1,6 %. Более высокие ре-

зультаты были получены лишь в сфалеритах огнейсованных пород. Отдельные кристаллы сфалерита как первой, так и второй генераций, обладают весьма стабильными значениями





**Рисунок 2.** Распределение железа в сфалерите на контакте с пиритом (1–6 — порядковые номера кривых соответственно таблице 1)

содержаний железа и не имеют включений других минералов.

Халькопирит под действием теплового поля массива испытал перекристаллизацию и переотложился к периферийным частям рудных тел и к их выклинкам. Также как и сфалерит второй генерации перекристаллизованный халькопирит образует прожилки и линзы в пиритовых рудах, что еще раз подтверждает их метаморфическую природу. По содержаниям железа, значения которых укладываются в интервал 30,8–31,9%, перекристаллизованный халькопирит почти не отличается от его рассеянной разновидности.

Пирротин встречается в небольшом количестве в приближенных к массиву частях рудной зоны, а также на рудопроявлении Мартын. Отмечается небольшая вкрапленность пирротина и в огнейсованных породах. По содержанию железа в пирротине намечается как будто бы обратная зональность, однако редкие замеры не дают возможности считать зональность установленной.

Галенит наложен на перекристаллизованные руды и часто образует сростки с халькопиритом. Наиболее обогащен свинцом лежащий бок и глубокие горизонты рудных тел.

Важно отметить, что в рудных минералах месторождения отсутствуют структуры распада, типичные для колчеданных и медноколчеданных месторождений.

Учитывая изложенное выше, можно более или менее уверенно говорить о длительном и многостадийном формировании руд Таш-Ярского месторождения и о процессах частичной регенерации рудного вещества [8; 10]. Данный механизм ранее нами отмечался на Амурском стратиформном месторождении, расположенном в 1,5–2,0 км от крупного Суундукского гранитного массива [15], где в рудах и во вмещающих черных сланцах отмечены высокие содержания золота [16]. Это заметно выше, чем в первичных колчеданных рудах [17].

Таш-Ярское колчеданно-полиметаллическое месторождение возникло, вероятно, сингенетично с контрастно-дифференцированной риолит-базальтовой формацией карамалы-ташской свиты и в карбоне испытало контактовый метаморфизм под действием внедрившегося Ахуновского гранитоидного массива. В результате произошла почти полная перекристаллизация и частичная экстракция рудного вещества. На регрессивной стадии на фоне постепенно понижающихся температур отлагались поздние руды, имеющие полиметаллическую специализацию. Частично рудные минералы рассеялись во вмещающих породах, частично они наложались на более ранние руды. Более высокие содержания железа в минералах перекристаллизованных руд по сравнению с переотложенными указывают на повышенные температуры преобразования первых. Абсолютные значения этих температур и давления авторами установлены по гранат-биотитовому и гранат-кордиеритовому термобарометрам [18].

Для этой цели на рентгеноспектральном микроанализаторе «Камека» MS-46 были изучены химические составы контактово-метаморфических минералов, при этом особое внимание уделялось биотиту, гранату и кордиериту. Анализ проводился только на несколько элементов: кремний, алюминий, магний, железо и кальций. Результаты анализа помещены в таблице 2.

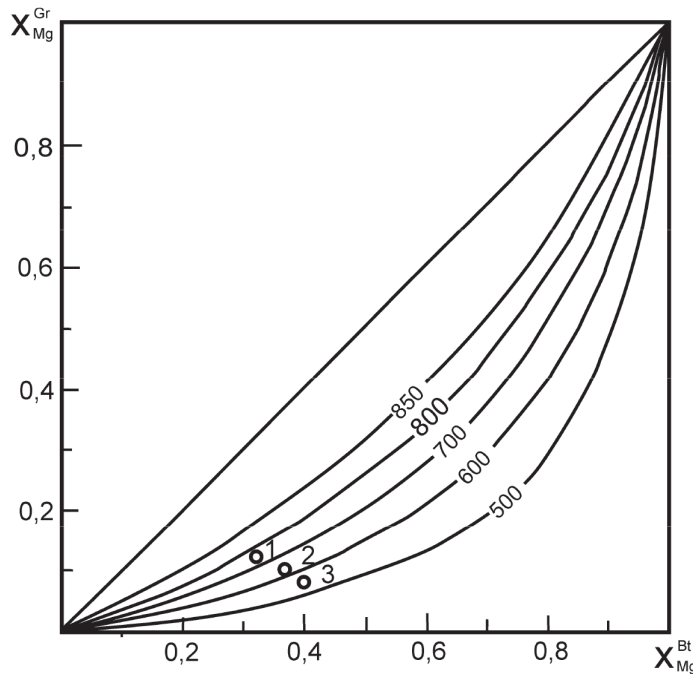
Гранат-биотитовый термометр основан на распределении железа, магния и марганца между этими минералами в зависимости от температуры преобразующей среды. Диаграмма в координатах  $X_{BtMg}$ ,  $X_{GrMg}$  рас-

**Таблица 2.** Составы (%) биотитов (Bi), гранатов (Gr) и кордиеритов (Cor)

Минерал	Скв.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Σ FeO +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	X <sub>Mg</sub>	T °C
Bi-1	1254, 1305	33,8	20,6	22,3	—	5,9	—	0,32	720–730
Gr-1	1254, 1305	38,2	21,3	30,5	1,7	3,7	2,4	0,18	720–730
Cor-1	1254, 1305	48,7	32,4	14,4	0,1	5,8	—	0,42	730–750
Bi-2	827, 829	34,6	19,4	21,1	—	7,2	0,2	0,38	620–630
Gr-2	827, 829	37,3	22,2	33,5	3,3	2,4	2,1	0,11	620–630
Cor-2	827, 829	49,3	33,2	11,4	0,3	6,5	—	0,48	620–640
Bi-3	832, 1251	35,2	19,8	22,3	—	8,4	0,4	0,40	550–560
Gr-3	832, 1251	37,2	21,7	34,2	0,9	1,9	1,2	0,09	550–560

считана для средних значений магнезиальностей (рисунок 3). Ввиду того, что значения содержания марганца не превышают фоновые более чем втрое и поэтому очень малы, они не учтены в расчетах. На распределение магния и железа, а значит, и на точность определения

температуры оказывает влияние примесь кальция. Однако исследуемый гранат очень близок к альмандину, так как содержит всего 2–2,5% Ca, поэтому поправка на него составляет 5–8%. Такая точность вполне удовлетворительна.



1 — положение на диаграмме биотит-гранатовых парагенезисов Таш-Ярского месторождения (точки 1–3, см. таблицу 2)  
X<sub>Bi</sub>Mg и X<sub>Gr</sub>Mg — мольные доли компонентов

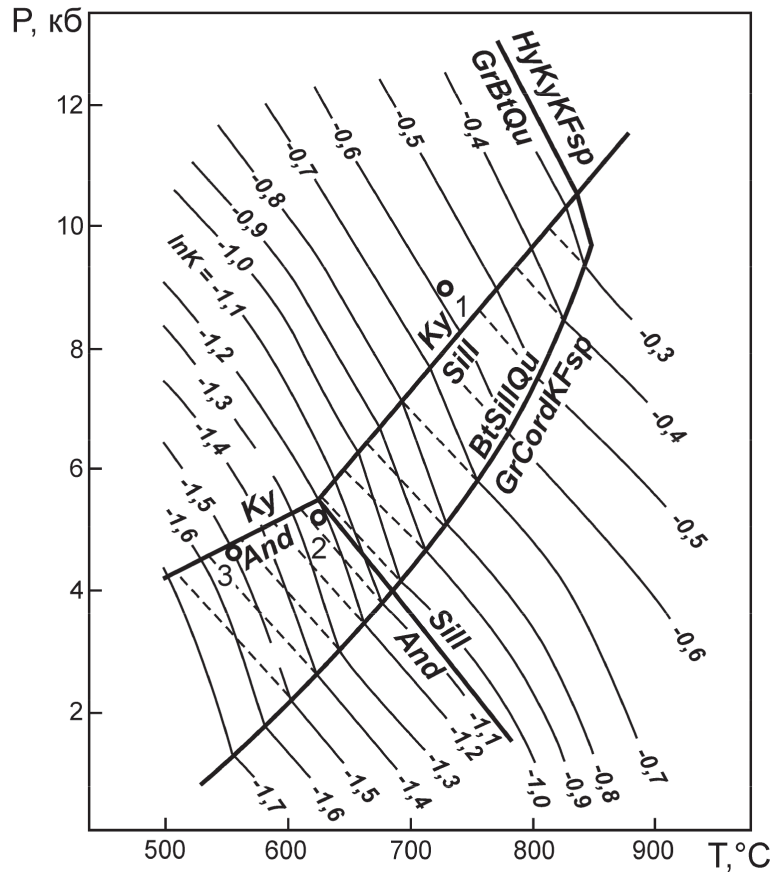
**Рисунок 3.** Диаграмма фазового соответствия для парагенезиса биотит-гранат

По гранат-биотитовому и кордиерит-гранатовому термометрам для приближенных к массиву пород получены высокие температуры и давления преобразования, охватывающие интервал 720–750 °C и 8,9–9,1 кбар (рисунок 4). При удалении на 700–850 м от контакта гранитоидов с вмещающими породами (скв. 827, 829) значения температур не превышают 620–640 °C, а давление 5,3–5,4 кбар. Распределение железа и магния в гранате и биотите скважин 832 и 1251, расположенных

на расстоянии соответственно 1,2 и 1,3 км от Ахуновского массива, попадает на диаграмме в область температур 550–560 °C и давления в 4,6–4,7 кбар (здесь уже нет кордиерита, и определение велось по гранат-биотитовому термометру). Полученные данные позволяют говорить об относительно высоких температурах и давлении преобразования рудного вещества и вмещающих вулканогенных пород, в результате чего возникли новые высокотемпературные минеральные ассоциации.

Ранее и в последнее время в работах многих исследователей отмечалось рассеивание рудного вещества при процессах частичной или полной регенерации [10, 19]. Однако важно отметить, что переотложенная минерализация в благоприятных условиях при наличии экранов может дать самостоятельные более или менее крупные скопления [20].

На Первомайском участке экранирующая роль миндалекаменных базальтовых порфиритов, перекрывающих рудоносную пачку, может стать решающей при локализации оруденения, поэтому площади их распространения являются весьма перспективными и рекомендуются для дальнейшего детального изучения.



*Примечание:* поля минералов: And — андалузит; Ky — кианит; Sill — силлиманит; Bi — биотит; Gr — гранат; Cord — кордиерит; KFsp — калиевый полевой шпат; Qu — кварц; Ну — гиперстен

**Рисунок 4.** Диаграмма P-T для определения давления по T и lnK в породах Таш-Ярского месторождения (точки 1–3, см. таблицу 2) [18]

**Выводы**

1. Формирование Таш-Ярского колчеданно-полиметаллического месторождения, относящегося к числу контактово-метаморфизованных, происходило, вероятно, в три стадии: 1) образование руд, сингенетичных с вмещающими вулканогенными породами; 2) перекристаллизация под действием внедрившегося Ахуновского гранитоидного массива; 3) переотложение рудного вещества на стадии снижения температур.

2. Расчет температур и давления перекристаллизации по биотит-гранатовому и кордиерит-гранатовому термобарометрам показал

довольно высокие их значения. Ближайшие к интрузии участки рудных тел находились в области изотермы 740 °С и давления около 9 кбар, а наиболее удаленные — в области изотермы 560–570 °С и давления 4,7 кбар.

3. Пирит и сфалерит перекристаллизованных руд по содержанию в них железа имеют отчетливую зональность, повторяющую в плане контуры Ахуновской интрузии.

4. Наличие миндалекаменных базальтовых порфиритов, способных играть экранирующую роль, создает большие перспективы при поисках переотложенных руд на Первомайском участке.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Kuzebnyy V.S., Kaleyev Y.A., Makarov V.A. Volcanogenic-Sedimentary Massive Sulfide Mineralization of the Kyzyl-Tashtyg Ore Field, Eastern Tuva // *International Geology Review*. 1990. Vol. 32. P. 384-390. DOI: 10.1080/00206819009465785.
2. Prokin V.A., Buslaev F.P. Massive Copper-Zinc Sulphide Deposits in the Urals // *Ore Geology Reviews*. 1998. Vol. 14. Issue 1. P. 1–69. DOI: 10.1016/S0169-1368(98)00014-6.
3. Shanks W.C., Thurston R. Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-C. Denver: U.S. Geological Survey, 2012. 345 p. DOI: 10.3133/sir20105070C.
4. Mousivand F., Restad E., Maghfouri S., Peter J. Metallogeny of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of Iran // *Ore Geology Reviews*. 2018. Vol. 95. P. 974–1007. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.011.
5. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed Hydrothermal Ore Deposits // *Treatise on Geochemistry (Second Ed.)*: In Book. Amsterdam: Elsevier Science, 2014. Vol. 13. P. 175-194. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01107-4.
6. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in the Urals. *Ore Geology // Ore Geology Reviews*. 2017. Vol. 85. P. 30-63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032.
7. Admou S., Branquet Y., Badra L., Barbanson L., Outhounjite M., Khalifa A., Zouhair M., Maacha L. The Hajjar Regional Transpressive Shear Zone (Guemassa Massif, Morocco): Consequences on the Deformation of the Base-Metal Massive Sulphide Ore // *Minerals*. 2018. Vol. 8. No. 10. P. 435-455. DOI: 10.3390/min8100435.
8. Ящинин С.Б. Таш-Ярское сульфидное рудопроявление // *Геология, минералогия и геохимия сульфидных месторождений Южного Урала*. Уфа: БФ АН СССР, 1970. Вып. 10. С. 135–141.
9. Сначёв А.В., Пучков В.Н., Сначёв В.И., Савельев Д.Е., Бажин Е.А. Большаковский габбровый массив — фрагмент Южно-Уральской зоны раннекаменноугольного рифта // *Доклады академии наук*. 2009. Т. 429. № 1. С. 79–81.
10. Викентьев И.В., Карпухина В.С., Носик Л.П., Еремен Н.И. Условия формирования цинково-колчеданного месторождения Таш-Яр, Южный Урал // *Доклады академии наук*. 2009. Т. 428. № 5. С. 633–636.
11. Бородаев Ю.С., Еремин Н.И., Мельников Ф.П., Старостин В.И. Лабораторные методы исследования минералов и пород. М.: Изд-во МГУ, 1979. 272 с.
12. Демин Ю.И., Сергеева. Н.Е. Межфазовые диффузионные зоны в рудообразующих минералах как показатель интенсивности преобразования колчеданных месторождений // *Геология рудных месторождений*. 1981. Т. 23. № 5. С. 65–78.
13. Симонов В.А., Ковязин С.В., Тереня Е.О., Масленников В.В., Зайков В.В., Масленникова С.П. Физико-химические параметры магматических и гидротермальных процессов на колчеданном месторождении Яман-Касы, Южный Урал // *Геология рудных месторождений*. 2006. Т. 48. № 5. С. 423–438.
14. Демин Ю.И., Сначёв В.И. Тепловые поля Ахуновского гранитного массива и закономерности размещения в них оруденения // *Доклады академии наук СССР*. 1981. Т. 261. № 1. С. 152–156.
15. Серавкин И.Б., Сначёв В.И. Стратиформные полиметаллические месторождения восточной провинции Южного Урала, Россия // *Геология рудных месторождений*. 2012. Т. 54. № 3. С. 253–265.
16. Рыкус М.В., Сначёв В.И., Кузнецов Н.С., Савельев Д.Е., Бажин Е.А., Сначёв А.В. Рудоносность дунит-гарцбургитовой и черносланцевой формаций пограничной зоны между Южным и Средним Уралом // *Нефтегазовое дело*. 2009. Т. 7. № 2. С. 17–27.
17. Vikentyev I.V., Yudovskaya M.A., Mokhov A.V., Kerzin A.L., Tsepin A.I. Gold and PGE in Sulfide Massive Sulphide Ore of the Uzelginsk Deposit, Southern Urals, Russia // *The Canadian Mineralogist*. 2004. Vol. 42. No. 2. P. 651–665. DOI: 10.2113/gscanmin.42.2.651.
18. Перчук Л.Л. Равновесия породообразующих минералов. М.: Наука, 1970. 391 с.
19. Смирнов В.И. Предисловие к сборнику // *Рудные регенерированные месторождения: сб. ст. М.: ИИЛ*, 1957. С. 5–10.
20. Серавкин И.Б., Косарев А.М., Пучков В.Н. Геодинамические условия формирования колчеданных месторождений Магнитогорской мегазоны Южного Урала и критерии для их поисков // *Геология рудных месторождений*. 2017. Т. 59. № 3. С. 220–237. DOI: 10.7868/S0016777017030054.

## REFERENCES

1. Kuzebnyy V.S., Kaleyev Y.A., Makarov V.A. Volcanogenic-Sedimentary Massive Sulfide Mineralization of the Kyzyl-Tashtyg Ore Field, Eastern Tuva. *International Geology Review*, 1990, Vol. 32, pp. 384–390. DOI: 10.1080/00206819009465785.
2. Prokin V.A., Buslaev F.P. Massive Copper-Zinc Sulphide Deposits in the Urals. *Ore Geology Reviews*, 1998, Vol. 14, Issue 1, pp. 1–69. DOI: 10.1016/S0169-1368(98)00014-6.
3. Shanks W.C., Thurston R. *Volcanogenic Massive Sulfide Occurrence Model: U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010-5070-C*. Denver, U.S. Geological Survey, 2012. 345 p. DOI: 10.3133/sir20105070C.
4. Mousivand F., Restad E., Maghfouri S., Peter J. Metallogeny of Volcanogenic Massive Sulfide Deposits of Iran. *Ore Geology Reviews*, 2018, Vol. 95, pp. 974–1007. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.01.011.
5. Corriveau L., Spry P.G. Metamorphosed Hydrothermal Ore Deposits. In Book «*Treatise on Geochemistry (Second Ed.)*». Amsterdam, *Elsevier Science*, 2014. Vol. 13. pp. 175-194. DOI: 10.1016/B978-0-08-095975-7.01107-4.
6. Vikentyev I.V., Belogub E.V., Novoselov K.A., Moloshag V.P. Metamorphism of Volcanogenic Massive Sulphide Deposits in the Urals. *Ore Geology. Ore Geology Reviews*, 2017, Vol. 85, pp. 30–63. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2016.10.032.
7. Admou S., Branquet Y., Badra L., Barbanson L., Outhounjite M., Khalifa A., Zouhair M., Maacha L. The Hajjar Regional Transpressive Shear Zone (Guemassa Massif, Morocco): Consequences on the Deformation of the Base-Metal Massive Sulphide Ore. *Minerals*, 2018, Vol. 8, No. 10, pp. 435–455. DOI: 10.3390/min8100435.



8. Yashchinin S.B. Tash-Yarskoe sul'fidnoe rudoproyavlenie [Tash-Yar Sulfide Ore Occurrence]. *Geologiya, mineralogiya i geokhimiya sul'fidnykh mestorozhdenii Yuzhnogo Urala* [Geology, Mineralogy, and Geochemistry of Sulphide Deposits of the Southern Urals]. Ufa, BF AN SSSR Publ., 1970, Issue 10, pp. 135–141. [in Russian].
9. Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Savelev D.E., Bazhin E.A. Bol'shakovskii gabbrovyy massiv — fragment Yuzhno-Ural'skoi zony rannekamennougol'nogo rifta [Bol'shakovskii Gabbro Massif as a Fragment of the Southern Urals Zone of Early Carboniferous Rift]. *Doklady akademii nauk — Doklady Akademii Nauk*, 2009, Vol. 429, No. 1, pp. 79–81. [in Russian].
10. Vikentev I.V., Karpukhina V.S., Nosik L.P., Eremin N.I. Usloviya formirovaniya tsinkovo-kolchedannogo mestorozhdeniya Tash-Yar, Yuzhnyi Ural [Conditions for the Formation of the Zinc-Pyrite Deposit Tash-Yar, South Ural]. *Doklady akademii nauk — Doklady Akademii Nauk*, 2009, Vol. 428, No. 5, pp. 633–636. [in Russian].
11. Borodaev Yu.S., Eremin N.I., Melnikov F.P., Starostin V.I. *Laboratornye metody issledovaniya mineralov i porod* [Laboratory Methods for the Study of Minerals and Rocks]. Moscow, MGU Publ., 1979. 272 p. [in Russian].
12. Demin Yu.I., Sergeeva N.E. Mezhfazovye diffuzionnye zony v rudoobrazuyushchikh mineralakh kak pokazatel' intensivnosti preobrazovaniya kolchedannykh mestorozhdenii [Interphase Diffusion Zones in Ore-Forming Minerals as an Indicator of the Conversion Intensity of Pyrite Deposits]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, 1981, Vol. 23, No. 5, pp. 65–78. [in Russian].
13. Simonov V.A., Kovyazin S.V., Terenya E.O., Maslennikov V.V., Zaikov V.V., Maslennikova S.P. Fiziko-khimicheskie parametry magmaticheskikh i gidrotermal'nykh protsessov na kolchedannom mestorozhdenii Yaman-Kasy, Yuzhnyi Ural [Physicochemical Parameters of Magmatic and Hydrothermal Processes at the Yaman-Kasy Massive Sulfide Deposit, the Southern Urals]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, 2006, Vol. 48, No. 5, pp. 423–438. [in Russian].
14. Demin Yu.I., Snachev V.I. Teplovye polya Akhunovskogo granitnogo massiva i zakonornosti razmeshcheniya v nikh orudneniya [Thermal Fields of the Akhunovsky Granite Massif and Patterns of Mineralization in Them]. *Doklady akademii nauk SSSR — Soviet Physics. Doklady*, 1981, Vol. 261, No. 1, pp. 152–156. [in Russian].
15. Seravkin I.B., Snachev V.I. Stratiformnye politmetallicheskie mestorozhdeniya vostochnoi provintsii Yuzhnogo Urala, Rossiya [Stratiform Base-Metal Deposits in the Eastern Province of the Southern Urals, Russia]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, 2012, Vol. 54, No. 3, pp. 253–265. [in Russian].
16. Rykus M.V., Snachev V.I., Kuznetsov N.S., Savelev D.E., Bazhin E.A., Snachev A.V. Rudonosnost' dunit-gartsburgitovoi i chernoslantsevoi formatsii pogranichnoi zony mezhdru Yuzhnym i Srednim Uralom [Ore Mineralization of Dunite-Hartzburgite and Black Shale Formations in a Transitional Area between the South and Middle Urals]. *Neftegazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2009, Vol. 7, No. 2, pp. 17–27. [in Russian].
17. Vikentyev I.V., Yudovskaya M.A., Mokhov A.V., Kerzin A.L., A.I. Tsepin Gold and PGE in Sulfide Massive Sulphide Ore of the Uzelginsk Deposit, Southern Urals, Russia. *The Canadian Mineralogist*, 2004, Vol. 42, No. 2, pp. 651–665. DOI: 10.2113/gscanmin.42.2.651.
18. Perchuk L.L. *Ravnovesiya porodoobrazuyushchikh mineralov* [Equilibrium Rock-Forming Minerals]. Moscow, Nauka Publ., 1970. 391 p. [in Russian].
19. Smirnov V.I. Predislovie k sborniku [Foreword to the Collection]. *Sbornik statei «Rudnye regenerirovannye mestorozhdeniya»* [Collection of Articles «Ore Regenerated Deposits»]. Moscow, IIL Publ., 1957. pp. 5–10. [in Russian].
20. Seravkin I.B., Kosarev A.M., Puchkov V.N. Geodinamicheskie usloviya formirovaniya kolchedannykh mestorozhdenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala i kriterii dlya ikh poiskov [Geodynamic Conditions of Formation of Massive Sulfide Deposits in the Magnitogorsk Megazone, Southern Urals, and Prospection Criteria]. *Geologiya rudnykh mestorozhdenii — Geology of Ore Deposits*, 2017, Vol. 59, No. 3, pp. 220–237. DOI: 10.7868/S0016777017030054. [in Russian].

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ ABOUT THE AUTHORS

**Сначёв Владимир Иванович**, д-р геол.-минерал. наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт геологии УФИЦ РАН. г. Уфа, Российская Федерация

**Vladimir I. Snachev**, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Chief Researcher, Institute of Geology UFRS RAS, Ufa, Russian Federation

e-mail: SAVant@inbox.ru

**Рыкус Михаил Васильевич**, канд. геол.-минерал. наук, доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

**Mikhail V. Rykus**, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Assistant Professor of Geology and Oil and Gas Field Exploration Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: rykusmihail@mail.ru