

В. В. ДИСТЛЕР* — А. А. ФИЛИМОНОВА*

ТЕКСТУРЫ, СТРУКТУРЫ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МАГМАТИЧЕСКИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД

(Рис. 3, Таб. 2)

Резюме: Формирование текстур и структур магматических сульфидных руд связано с двумя главными процессами: кристаллизационной и ликвационной дифференциацией сульфидной жидкости. В результате кристаллизационной дифференциации формируются текстуры, характеризующиеся последовательным отложением минеральных агрегатов постепенными переходами между различными минеральными ассоциациями. Текстуры, отражающие процесс ликвационной дифференциации сульфидной жидкости, характеризуются резким разделением контрастных агрегатов. Внутреннее строение агрегатов обусловлено последовательной кристаллизацией различных по составу сульфидных жидкостей и твердофазовыми превращениями первичных соединений на субсолидусной стадии.

Разнообразие парагенезисов магматических сульфидов выражено не столько в закономерном изменении химического состава одних и тех же рудообразующих сульфидов.

Тип парагенезиса зависит от фугитивности серы в сульфидной жидкости и температуры, а также от фугитивности кислорода в сосуществующем силикатном расплаве.

Abstract: Formation of textures and structures of magmatic sulphide ores is connected with two main processes: crystallizational and liquational differentiation of sulphide liquid. Owing to crystallizational differentiation the textures characteristic by successive deposition of mineral aggregates are formed by gradual transitions between the various mineral associations. The textures reflecting the process of liquational differentiation of sulphide liquid are characterized by marked division of contrasting aggregates. Internal structure of aggregates is conditioned by successive crystallization of sulphide liquids different in their composition and by solid-phases transformations of primary compounds on subsolid stage.

Heterogeneity of paragenesis of magmatic sulphides is expressed not so much in regular change of chemical composition of the same ore-forming sulphides.

The type of paragenesis depends on fugacity of sulphur in sulphide liquid and temperature, and on fugacity of oxygen in coexisting silicate melt as well.

В базитовых и ультрабазитовых магматических телах земной коры сульфиды являются достаточно обычными компонентами. В большинстве тел они присутствуют в виде аксессуарных минералов и лишь в некоторых количество сульфидов достигает столь высоких концентраций, что они наряду с силикатами приобретают роль основного рудообразующего компонента. Сам факт высокой концентрации сульфидов в магматической породе представляет собой необходимое, но не достаточное условие для определенного суждения о их магматогенной природе. Необходимым и достаточным условием для этого является

* В. В. Дистлер, д-р. г. м. н., А. А. Филимонова, д-р. г. м. н., Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР, Старомонетный пер. 35, 109017 Москва, Ж — 17.

определенное доказательство связи процесса сульфидообразования с петрогенезисом. В широком плане решения подобной задачи предполагает рассмотрение целого ряда аспектов, в том числе геолого-структурных, петрологических и др., однако, в настоящей работе мы остановимся на анализе текстурных и структурных соотношений силикатных и сульфидных минеральных ассоциаций и особенностях сульфидных парагенезисов, как отражения условий формирования сульфидоносных магматических образований в целом.

Магматические сульфидные руды по количественному соотношению сульфидов и других компонентов могут быть подразделены на следующие типы:

а) руды, в которых количество сульфидов близко или меньше количества других порообразующих компонентов;

б) руды, в которых сульфиды являются абсолютно преобладающим компонентом.

Первому типу отвечают наиболее распространенные в природе вкрапленные в базитах и ультрабазитах медно-никелевые и никелевые сульфидные руды, а второму — массивные никель-медные и медно-никелевые руды, слагающие отдельные крупные тела, нередко обособленные от интрузивных массивов.

Несмотря на значительные различия обоих типов руд между ними, тем не менее существует определенная общность, которая отражается в единстве закономерностей формирования их структур и парагенетических ассоциаций рудообразующих минералов.

Вкрапленные медно-никелевые и никелевые руды приурочены как правило к расслоенным интрузивным массивам, содержащим в своем составе горизонты базитов и ультрабазитов. В соответствии с закономерностями кинетической и гравитационной дифференциации магматических расплавов горизонты базитов распространены в верхней части разреза интрузивов, а ультрабазиты слагают их придонную часть. Однако, нижняя эндоконтактовая зона интрузивов нередко также сложена базитами. Рудная вкрапленность встречается практически по всему разрезу интрузивов, однако в наибольшей степени сульфиды концентрируются в горизонтах слагающих придонную часть и зоне их нижнего эндоконтакта.

В зависимости от приуроченности сульфидов к определенной части разреза интрузивов или к одной из петрографических разновидностей слагающих его пород, наблюдается четко выраженное изменение формы их агрегатов.

В базитах распространены относительно крупные неправильной формы сульфидные агрегаты, обладающие отчетливым ксеноморфизмом по отношению к порообразующим силикатам, представленным плагиоклазом и пироксенами. Иногда встречаются крупные шпировые обособления массивных сульфидов.

В ультрабазитах сульфиды образуют относительно мелкую вкрапленность, приуроченную к интерстициям порообразующих оливинов и пироксенов. Главными текстурами для таких руд являются интерстициальная и сидеронитовая. В некоторых разновидностях ультрабазитов наблюдаются специфичные сульфидные агрегаты, имеющие округлую иногда эллипсоидальную форму, причем вытянутая ось таких вкрапленников обычно ориентирована в направлении совпадающим с направлением внедрения магматических масс.

Особый интерес представляют ультрабазитовые горизонты, в которых сосуществуют несколько морфологических разновидностей сульфидных агрегатов. Так, в Норильских интрузивах, в пикритах и плагиоперидотитах слагающих

наиболее основной горизонт, в пределах одного небольшого образца могут встречаться совместно интрестициальные, каплевидные и относительно крупные неправильной формы сульфидные агрегаты. Изучение особенностей состава микрообъемов пород, находящихся в контакте с каждым типом сульфидной вкрапленности показало, что морфологическая неоднородность сульфидных агрегатов полностью связана с микронеоднородностью распределения породообразующих минералов. Так, интрестициальные сульфиды обычно заключены между изометричными зернами оливина и находящихся с ним в срастании зернами магнезиальноглиноземистой хромшпиннели. В приконтактной части каплевидных вкрапленников оливин практически не встречается, но развиты клинопироксен и плагиоклаз. Встречается хромшпиннель, но состав ее резко отличается от шпиннели ассоциирующей с оливином. Относительно крупные неправильной формы сульфидные агрегаты приурочены к существенно плагиоклазовым участкам породы (лейкократовые изометричные обособления), в которых в небольших количествах встречается клинопироксен.

Подобная эволюция морфологии сульфидных агрегатов находится в полном соответствии с последовательностью кристаллизации рудно-силикатного магматического расплава, содержащего сульфидные компоненты в виде несмешиваемой жидкости. Она отражает различные стадии сегрегации сульфидной жидкости, как наиболее легкоплавкого компонента базит-ультрабазитовых расплавов. Так на ранней стадии кристаллизации пород, соответствующей выделению в твердую фазу ассоциации оливин-шпиннель, в межзерновом пространстве силикатов „консервируются“ относительно небольшие объемы сульфидной жидкости, но по мере выделения все более низкотемпературных силикатных ассоциаций (пироксен-плагиоклаз и затем плагиоклаз) для сульфидной жидкости обеспечивается возможность для формирования все более и более крупных скоплений. Таким образом, форма и размер сульфидных агрегатов определяется условиями кристаллизации агрегатов силикатов, сосуществующий с сульфидами в данном микрообъеме магматического расплава. Эта же закономерность может быть выражена через соотношения температур кристаллизации ($t_{\text{крист}}$) сульфидной (SfL) и силикатных (SL) жидкостей следующим образом:

$$t_{\text{SL}}^{\text{крист}} \gg t_{\text{SfL}}^{\text{крист}} \quad \text{— интрестициальная и сидеронитовая вкрапленность}$$

$$t_{\text{SL}}^{\text{крист}} \cong t_{\text{SfL}}^{\text{крист}} \quad \text{— каплевидная вкрапленность}$$

$$t_{\text{SL}}^{\text{крист}} \approx t_{\text{SfL}}^{\text{крист}} \quad \text{— крупные ксеноморфные агрегаты и шлировые скопления сульфидов}$$

По особенностям внутренней структуры сульфидных агрегатов, для решения поставленной нами задачи, наибольший интерес представляют каплевидные вкрапленники. В большинстве случаев они обладают четкой расслоенностью, выраженной в обособлении в верхней части вкрапленников халькопирита, а в нижней — пирротина. Пентландит распределен во всем объеме вкрапленника но большее его количество приурочено к пирротину. Граница расслоения почти идеально повторяет положение контактов интрузивного тела. Расслоение

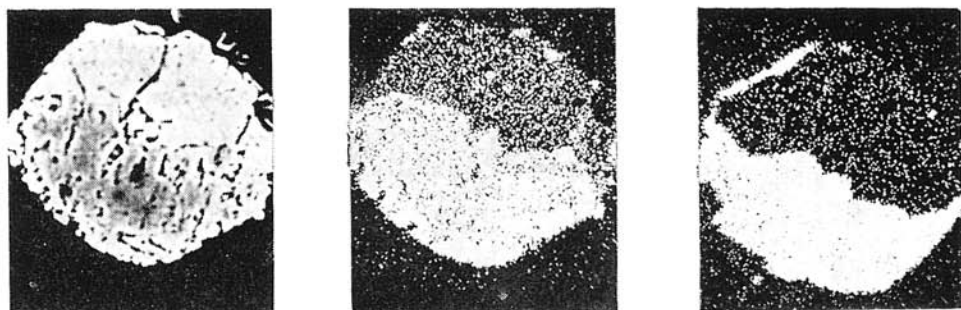


Рис. 1. Распределение никеля и меди между моносulfидными твердыми растворами в расслоенном вкраплении из базальтов дна Атлантического океана. Сканирование на рентгеновском микроанализаторе в обратных электродах (а) и характеристическом излучении никеля (b) и меди (с).

вкрапленников связано с процессом ликвации сульфидного расплава на богатую медью и богатую железом жидкости, продуктами кристаллизации которых являются халькопиритовый (Jss) и никель-пирротиновый (Mss) твердые растворы. В магматических сульфидных рудах первичные твердые растворы обычно не сохраняются, а распространены продукты их твердофазовых превращений, соответствующими минеральными фазами. Продуктами распада Mss являются пирротин и пентландит а продуктам распада Jss — минералы группы халькопирита (моихукит, талнахит, халькопирит и др.) и иногда кубанит. Прямым доказательством существования сульфид-сульфидной ликвации служат расслоенные вкрапленники изученные нами в некоторых разновидностях океанических базальтов. В результате развития закалывания в таких вкрапленниках сохранили халькопиритовый и никель-пирротиновый твердые растворы, четко обособленные в различных частях сульфидной капли (рис. 1). Состав Jss близок кубаниту (таб. 1).

Таблица 1

Состав закаленной сульфидной жидкости во вкраплении из базальтов дна Атлантического океана

Твердые растворы	Fe	Ni	Co	Cu	S	Сумма
халькопиритовый-пирротиновый	41,01	2,68	0,14	20,14	36,27	100,24
	43,45	14,61	0,28	0,30	41,49	100,13

Важнейшей характеристикой магматических сульфидных руд являются фазовая и скрытая расслоенность рудной минерализации. В петрографической литературе термины фазовая и скрытая расслоенность введены для обозначения закономерных изменений соответственно минерального состава и химического состава минералов стратифицированных интрузивов (Уэйджер — Браун, 1970). В приложении к сульфидной минерализации тех же интрузивов значение

обоих этих терминов в определенной мере сближаются поскольку видовое разнообразие главных рудообразующих сульфидов медно-никелевых руд в целом не столь велико (минералы группы пирротина и халькопирита, пентландит и кубанит), но вариации химического состава каждого минерала значительны и проявляются вполне закономерно. Фазовая и скрытая расслоенность сульфидного оруденения детально описана нами на примере Талнахского интрузива (Дистлер и др. 1979) и для сульфидоносного массива из Восточного Казахстана приведена на (рис. 2).

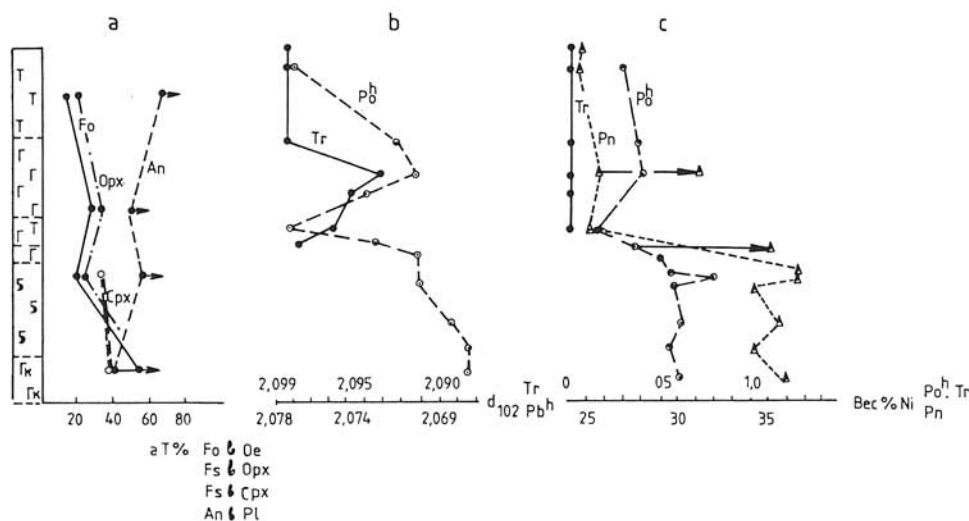


Рис. 2. Фазовая и скрытая расслоенность базит-ультрабазитового массива из Восточного Казахстана.

Пояснения: а) изменение состава порообразующих минералов; б) вариации состава пирротина (Po), троилита (Tr), определенные по изменению отражения d_{102} ; в) изменение распределения никеля (вес. %) между пирротиниом (Po), троилитом (Tr) и пентландитом (Pn). Стрелками соединены точки составов сосуществующих пентландитов.

Обобщение данных по нескольким сульфидоносным интрузивам позволило выявить одну из важных характеристик парагенетических ассоциаций магматических сульфидов. Она заключается в том, что парагенезисы магматических сульфидов представляют собой не столько ассоциации различных минеральных видов, сколько ассоциации одних и тех же минералов, но резко отличающихся по своему химическому составу. Основные различия для минералов группы пирротина выражены в изменении соотношения $\Sigma \text{Me}/\text{S}$, для минералов группы халькопиритов в изменении соотношения $\Sigma \text{Me}/\text{S}$ и железистости, для пентландита в изменении соотношения Fe/Ni . Обобщение материалов по рудоносным массивам Кольского полуострова, Таймыра, Сибирской платформы позволило выявить следующие главные типы парагенезисов:

Таблица 2

Фазовый и химический состав рудной минерализации из различных морфологических типов сульфидных агрегатов

Тип сульфидных агрегатов	Ассоциация околорудных силикатов	Сульфидные ассоциации	Химический состав некоторых рудных минералов					
			пентландит			пирротин		
			Fe	Ni	Co	S	Σ	Σ
интерстициальный каплевидный ксеноморфный	Fo ₈₅₋₉₅ + Shp Cpx + Pl Pl	Pn + CuB + Cr ^{Fe} + Tr Pn + CuB + Cr ^{Pl} + Po ^h Pn + Cr ^{Pl} + Po ^m	34,9	31,1	2,0	32,9	100,9	63,0
			0,003	35,8	98,83			
			31,5	34,5	1,3	32,5	100,8	60,5
			0,41	37,5	98,41			
			28,8	37,3	1,1	32,7	99,9	59,3
			0,59	38,3	98,19			

Примечание: Fo — форстерит; Shp — хромшпидель; Pl — плагиоклаз; Crx — клинопироксен; Pn — пентландит;
 CuB — кубанит; Cr^{Fe} — железистый халькопирит; Cr^{Pl} — тетрагональный халькопирит; Tr — тронглит;
 Po^h — гексагональный пирротин; Po^m — моноклинный пирротин.

1. низкосернистый, включающий тронглит, монхукит (талнахит), высоко железистый пентландит и кубанит;

2. промежуточный по сернистости, состоящий из железистого гексагонального пирротина, железистого халькопирита или нормального халькопирита, пентландита с соотношением Fe/Ni = 1;

3. высокосернистый, включающий моноклинный пирротин, халькопирит и высоконикелистый пентландит.

В разрезах расслоенных интрузивов каждая парагенетическая ассоциация характеризуется приуроченностью к определенному петрографическому горизонту. Так низкосернистая ассоциация обычно проявлена в ультрабазитовых горизонтах, а высокосернистая преимущественно к базитовым горизонтам. При этом выявляется, что рассмотренные выше морфологические типы сульфидных агрегатов состоят, как правило, из различных парагенетических ассоциаций сульфидов. Особенно показателен в этом отношении рассмотренный пример текстурно-структурной неоднородности сульфидной минерализации пикритов Талнахского интрузива (таб. 2).

Основываясь на том, что наблюдаемый фазовый состав сульфидов является отражением состава моносulfидных твердых растворов, являющихся продуктами кристаллизации сульфидной жидкости, мы приходим к весьма важному выводу о первичной неоднородности состава этой жидкости в объеме магматического расплава. Причем ее неоднородность определенно связана с особенностями сосуществующего силикатного расплава. Как показывает парагенетический анализ и экспериментальные исследования в сульфидных системах, состав и кристаллизация сульфидной жидкости зависит от ее насыщения серой, что задается фугитивностью серы в сульфидно-силикатных расплавах. В усло-

виях высоких температур и высокой летучести кислорода фугитивность серы минимальна, но возрастает и по мере снижения температуры. При этом фугитивность кислорода убывает. Различие состава близко расположенных сульфидных агрегатов указывает на то, что обмен компонентами между дискретными объемами сульфидной жидкости отсутствует, т. е. ее микрообъемы были изолированы друг от друга. Это означает, что температура и фугитивность серы в каждом микрообъеме сульфидного расплава задается только микрообъемом окружающего расплава, а его кристаллизация приводит к консервации сульфидной жидкости при различных параметрах состояния. Таким образом струк-

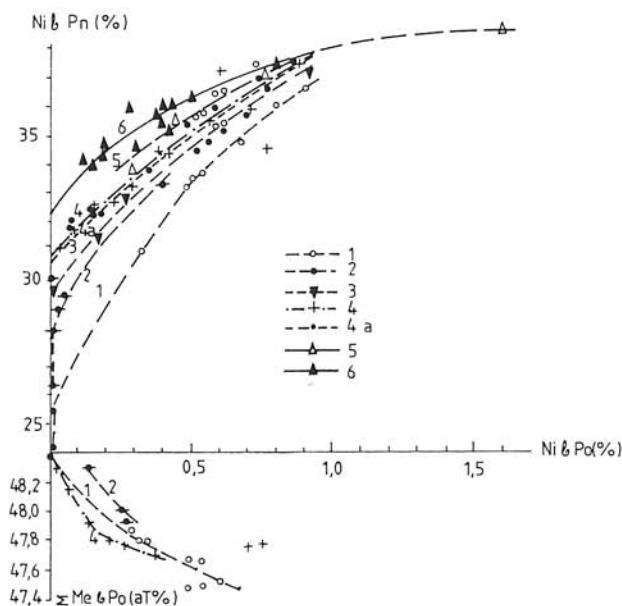


Рис. 3. Распределение никеля в сосуществующих пентландитах и пирротинах (вес. $\%$) и изменение содержания никеля в пирротинах разной железистости (ΣMe , ат. $\%$) из различных сульфидоносных массивов.

Пояснения: 1 — массив из Восточного Казахстана; 2—5 — массив Норильского района Сибирской платформы; 6 — массив в гранулитовом комплексе Кольского полуострова.

турно-текстурная неоднородность, стратификация и скрытая расслоенность сульфидной минерализации полностью определяется микро- и макронеоднородностью сосуществующего силикатного расплава. При этом очевидно, что для различных интрузивных тел, отличающихся составом и температурными условиями кристаллизации, должны наблюдаться свои особенности изменения состава сульфидной минерализации. Это положение полностью подтверждается анализом зависимости распределения никеля между продуктами распада никель-пирротинного твердого раствора — пирротинном и пентландитом, входящими в состав сульфидных агрегатов разных интрузивов (рис. 3). Вся сумма приведенных данных по текстурно-структурному изучению и парагенетическому ана-

лизу рудной минерализации, приуроченной к базит-ультрабазитовым интрузивам определенно доказывает, что происхождение сульфидной вкрапленности в этих интрузивах связано с развитием собственно магматического процесса, в котором поведение сульфидных и петрогенных компонентов взаимосвязано.

ЛИТЕРАТУРА

- ДИСТЛЕР, В. В. — СМЕРНОВ, А. В. — ГРОХОВСКАЯ, Т. Л. — ФИЛИМОНОВА, А. А. — МУРАВНИЦКАЯ, Г. Н., 1979: Стратификация, скрытая расслоенность дифференцированных трапповых интрузий и условия образования сульфидного оруденения. В сб.: Условия образования магматических рудных месторождений, АН СССР, Москва, с. 211—269.
- УЗІДЖЕР, Л. — БРАУН, Г., 1970: Расслоенные изверженные породы, Мир, Москва.

Рецензия Ц. ВАРЧЕК

Рукопись получена 31 марта 1983