

П. А. КОТОВ

О ХАРАКТЕРЕ УЧАСТИЯ ВАДОЗНЫХ ВОД ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ФЛЮОРИТОВЫХ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*(Представлено академиком Н. М. Страховым 1 VII 1969)*

Участие вадозных вод при формировании гидротермальных месторождений флюорита не вызывает сомнений, однако роль их не определена достаточно точно. Нагретые до сотен градусов паро-газовые фтороносные флюиды поднимались по зонам разломов, внедрялись в водоносные пласты пород или в заполненные вадозными водами трещинные полости тектонических нарушений и ассимилировались водной средой, растворялись в ней, одновременно вступая в химические реакции.

В зависимости от характера нагретых флюидами подземных вод можно наметить два основных типа месторождений: 1) сформированные при активном участии инфильтрационных вод атмосферного происхождения; 2) образованные при участии «погребенных» вадозных вод.

Основным источником кальция при формировании месторождений первого типа служили породы гидрогеологических массивов. Инфильтрующиеся с поверхности химически активные гидрокарбонатные, отчасти также сульфатные и хлоридные кальцийсодержащие воды привносили выщелоченный ими из пород кальций в полости трещин линейных зон тектонических нарушений; сюда же поступали снизу и фтороносные флюиды. Столь обычные во всех флюоритовых провинциях жилы — это продукты законченных реакций соединения фтора и кальция. При наличии в геологических разрезах тектонически нарушенных участков богатых кальцием пород за счет взаимодействия фтороносных терм с этими породами создавались не только жилы, но и метасоматические залежи флюорита.

Нижняя граница распространения флюоритовой минерализации определяется глубиной проникновения вадозных вод. По простиранию жил она поднята в местах наименьшего дробления пород и опущена там, где породы тектонических зон были интенсивно нарушены и существовали крупные зияющие трещины. Как следствие — в продольном разрезе жилы имеют нередко неправильную пилообразную форму⁽¹⁸⁾.

Судя по составу растворов газовой-жидких и жидких включений во флюоритах, например забайкальских и таджикских месторождений, гидротермы в числе прочих компонентов содержали гидрокарбонат-ион^(7, 25), неизменно присутствующий в поверхностных водах постоянных и временных водотоков.

Повышенная минерализация растворов-узников по сравнению с подземными водами вполне закономерна. Флюоритовые жилы формировались длительное время в системах, сообщавшихся с атмосферой. Концентрация солей в гидротермальных растворах повышалась в результате пароотделения. Эффект последнего сопоставим с действием испарения на поверхности Земли, которое следующим образом охарактеризовано Н. М. Страховым⁽²⁷⁾: «На примере... водоемов, имеющих заливы, можно убедиться, что даже при малой солености основного бассейна в его полузакрытых заливах концентрация раствора может быстро повышаться...». Сравнение водоемов с заливами и крупных сильно обводненных разломов (рудоподводящих каналов) с оперяющимися трещинами (рудолокализирующими структурами) достаточно правомерно. В последних в силу затрудненного водообмена, как и в заливах, минерализация вод повышалась вследствие пароотделения. Лишь в сравнительно закрытых трещинных полостях фтор задерживался и вступал в реакции. Отсюда

Таблица 1

Возраст месторождений		Палеоклиматические условия		Флюоритоносные области	Источник
геологический	абсолютный, 10 ⁶ лет	климат	влажность		

Западная Европа

D ₃ — C ₁				Южная Норвегия	
C ₃ — P ₁	290	T		Повсеместно [Юго-Восточная Англия]	(2, 44, [38])
P ₂ — T ₁	225	T		Повсеместно, кроме Франции [Юго-Восточная Англия]	([38])
T — J	150—220	T — Cт		Чехия, Франция, [ФРГ, ГДР]	(43, [39], 20)
Tг — Q		T — У		ФРГ, ГДР, Чехия	(44, 37)

Азия

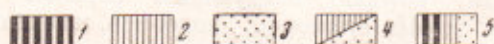
P ₂ — T ₁	230—250	T		Средняя Азия	(11, 4, [32])
T ₂ — J ₁		T — Cт		Корея	(22)
J ₂ — Cг	90—135	Cт		Монголия [Забайкалье]	(21, [14], 15, [6])
Cг ₂	80	T		Южная и Восточная Азия, исключая Корею [Индия]	([42])
Cг ₂ — Tг		Cт		Средняя Азия	(24)
Tг		T — Cт		Япония	

Альпийско-Гималайская область

Tг		T — Cт		Западные районы	
Tг		T		Центральные районы	

Америка

D ₃ — C ₁		T		Канада и Ньюфаундленд	
Cг	100	Cт — У		Восточные штаты США	(13, [30], 40)
Cг ₂ — Tг	40—80	Cт — У		Западные штаты США	(1, [12], 34, 13, [33], 40)
Tг		Cт — T		Южная Америка и Мексика	



Примечания. Климат: Т — тропический, Cт — субтропический, У — умеренный. Влажность: 1 — обильная, 2 — умеренная, 3 — скудная, 4 — смена влажности во времени, 5 — территориальное изменение влажности. Цифры абсолютного возраста относятся к территориям, заключенным в скобках. Из разделов Западная Европа и Азия исключены районы, Альпийско-Гималайской области. Основные литературные источники: для возраста (6), для палеоклиматов (28, 29, 30). Источники с данными абсолютного возраста заключены в квадратные скобки.

понятна приуроченность флюоритовых жил к второстепенным мелким нарушениям (^{4, 16}).

Участие вадозных вод при формировании месторождений первого типа подтверждается, в частности для Забайкалья, совпадением площадей распространения подземных кальцийсодержащих гидрокарбонатных вод и гидротермальной флюоритовой минерализации (¹⁷). Одним из важнейших факторов, влиявших на процессы гидротермального минералообразования, являлись, как впервые отметил Н. М. Страхов (³⁰), палеоклиматические условия, особенно годовая сумма

Т а б л и ц а 2

Климат	Влажность климата (колич. осадков, мм/год)		
	скупая	умеренная	обильная
Тропический	<800	800—2000	2000
Субтропический и умеренный	<500	500—1200	1200

осадков. Нами сделано сопоставление возрастов флюоритовых месторождений мира и климатов при их образовании (табл. 1) *. Для влажности климата приняты несколько укрупненные градации В. М. Спницына (²⁶) (см. табл. 2). Различия в количестве осадков для групп, одинаковых по влажности климата, но принадлежащих к разным тепловым поясам, вполне естественны: в тропиках испарение влаги гораздо интенсивнее, что сказывается в конечном итоге на режиме подземных вод.

Как видно из табл. 1, образование флюоритовых месторождений имело место на континентах неоднократно, особенно широко — в позднемезозойское и третичное время (⁵). Арена гидротермальных процессов — главным образом тропики и субтропики с влажностью климата от обильной до умеренной. В неблагоприятных условиях формировались месторождения центральной части Альпийско-Гималайской области, чем, возможно, обусловлено отсутствие в них крупных запасов (⁸). В отдельных случаях, когда возраст минерализации датируется временем, в течение которого климат резко менялся — из гумидного превращался в аридный, — месторождения могли возникнуть в периоды, более благоприятные в отношении влажности климата. Нельзя отрицать и возможности существования местами благоприятной обстановки при засушливом климате (⁹).

Считается, что образование флюоритовых месторождений происходило на глубинах порядка 0,5—3,5 км (¹⁹). Проникновение вадозных вод атмосферного происхождения не исключено до первых километров от дневной поверхности (³), но обводненность пород на глубоких горизонтах в целом понижена. Видимо, оптимальные условия для выделения флюорита создавались сравнительно неглубоко от дневной поверхности. Так, глубина формирования месторождений Восточного Забайкалья оценивается в 1,2—2,0 км (^{31, 35}). Ниже условия более благоприятствовали образованию месторождений второго типа, которые возникли без существенного участия вод атмосферного происхождения. Представители их известны в Англии, СССР, США, где пластовые залежи, реже жилы флюорита приурочены к карбонатным породам. Составы, растворов-узников из минералов таких месторождений и высокоминерализованных подземных вод вмещающих пород близки (^{36, 41}). Присутствие в гидротермах гидрокарбонат-иона — следствие, очевидно, повторных тектонических подвижек и установления связи глубоких горизонтов с дневной поверхностью.

Запасы месторождений второго типа на порядок выше, чем первого, и достигают десятков миллионов тонн. Разница в запасах является отражением различий в условиях образования. При формировании месторождений второго типа фтороносные флюиды, не имея выхода в атмосферу,

* В таблице опущены сведения о месторождениях Австралии и Южной Африки, как и о докембрийских месторождениях Канады из-за отсутствия данных о палеоклиматических условиях или неопределенности возраста.

растворялись в водах, пропитывавших пласты известняков, и вступали в реакции с кальцием вод и породами, которые замещались при этом флюоритом. Практически весь фтор мог связываться с кальцием, так как в последнем недостатка не было. Можно предполагать, что многие подобные месторождения, скрытые на глубине, еще ждут своего открытия. Не исключена также возможность выявления уникальных по запасам месторождений, сформированных при взаимодействии фтороносных флюидов с хлоридно-кальциевыми рассольными водами больших глубин. Аналоги таких вод известны, например, в пределах Якутского и Ангара-Ленского артезианских бассейнов (¹⁰, ²³).

Забайкальский комплексный
научно-исследовательский институт
Чита

Поступило
10 VI 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Д. Аксельрод, В сборн.: Осадочные фации в геологической истории, М., 1953, стр. 224. ² С. Бубнов, Геология Европы, 2, Внеальпийская Западная Европа, ч. 1, Каледониды и варисциды, Л.—М., 1935. ³ А. И. Германов, Зап. Всесоюз. мин. общ., в. 4 (1947). ⁴ Г. Г. Грушкин, Геол. рудн. месторожд., № 1 (1961). ⁵ Г. Г. Грушкин, Геол. рудн. месторожд., № 1 (1964). ⁶ Ю. П. Дорошенко, В сборн.: геология и разведка месторождений полезных ископаемых Забайкалья, Чита, 1968. ⁷ Ю. П. Дорошенко, В сборн.: Тез. докл. III Всесоюз. совещ. по минералогической термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов, М., 1968. ⁸ М. В. Дубовская, В сборн.: Минеральные ресурсы капиталистических стран (литий, бериллий, бор, фтор, магний), М., 1959. ⁹ Г. Н. Каменский, П. П. Климентов, А. М. Овчинников, Гидрогеология месторождений полезных ископаемых, М., 1953, стр. 18. ¹⁰ Г. Н. Каменский, М. М. Толстихина, Н. И. Толстихин, Гидрогеология СССР, М., 1959. ¹¹ Е. Д. Карпова, В сборн.: Закономерности размещения полезных ископаемых, в. 3, Изд. АН СССР, 1960. ¹² П. Ф. Керр, В сборн.: Геология атомных сырьевых материалов, М., 1956. ¹³ Ф. Б. Книг, Геологическое развитие Северной Америки, М., 1961. ¹⁴ Г. Н. Комарова, Тр. Инст. геол. рудн. месторожд., петрограф., минерал. и геохим. АН СССР, Автореф. работ сотрудников ИГЕМ за 1962 г., М., 1963. ¹⁵ В. С. Кормилицын, Н. И. Тихомиров и др., В сборн.: Геология и металлогения Советского сектора Тихоокеанского рудного пояса, Изд. АН СССР, 1963. ¹⁶ П. А. Котов, В сборн.: Вопросы рудоносности Восточного Забайкалья, М., 1967. ¹⁷ П. А. Котов, В сборн.: Геология некоторых рудных месторождений Забайкалья, Чита, 1968. ¹⁸ П. А. Котов, А. А. Черепанов, Вестн. научн. информ. Забайкальского отдела Географич. общ. СССР, № 4 (1965). ¹⁹ И. П. Кушнарев, В сборн.: Проблемы генезиса руд, Международн. геол. конгр., XXII сессия, Докл. сов. геол., Пробл. 5, М., 1964. ²⁰ В. Лафит, Вестн. Московск. унив., № 1 (1969). ²¹ Н. А. Маринков, Сов. геол., № 9 (1958). ²² В. Л. Масайтис, Н. А. Созинов, В сборн.: Геология Кореи, М., 1964. ²³ Е. В. Пиннекер, В сборн.: Формирование и геохимия подземных вод Сибири и Дальнего Востока, «Наука», 1967. ²⁴ А. М. Рахманов, Стадийность формирования полигенных и монокристаллических месторождений Южного Гиссара, М., 1966. ²⁵ М. А. Рахманов, В сборн.: Тез. докл. III Всесоюз. совещ. по минералогической термобарометрии и геохимии глубинных минералообразующих растворов, М., 1968. ²⁶ В. М. Синицын, Введение в палеоклиматологию, Л., 1967. ²⁷ Н. М. Страхов, Основы исторической геологии, ч. 1, М.—Л., 1948, стр. 185. ²⁸ Н. М. Страхов, Основы исторической геологии, ч. 2, М.—Л., 1948. ²⁹ Н. М. Страхов, Основы теории литогенеза, 1, Изд. АН СССР, 1962. ³⁰ Н. М. Страхов, Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли, М., 1963. ³¹ П. А. Строна, Изв. высш. учебн. завед., Геол. и разведка, № 4 (1960). ³² В. П. Федорчук, В сборн.: Генезис эндогенных рудных месторождений, М., 1968. ³³ Э. У. Хейприх, Минералогия и геология радиоактивного минерального сырья, М., 1962. ³⁴ Д. Л. Эверхарт, В сборн.: Геология атомных сырьевых материалов, М., 1956. ³⁵ А. А. Якжиц, Закономерности размещения и формирования флюоритовых месторождений Забайкалья, М., 1962. ³⁶ W. E. Hall, I. Friedman, Econ. Geol., 58, № 6 (1963). ³⁷ V. Hanus, M. Krs, Geophys. J., 8, № 1 (1963). ³⁸ R. P. C. Pockley, Mineral. Mag., 33, № 267 (1964). ³⁹ H. J. Rösler, J. Pilot, Freiburger Forschungs., C, № 209 (1968). ⁴⁰ L. S. Russel, Advancement Sci., 23, № 110 (1966). ⁴¹ F. J. Sawkins, Econ. Geol., 61, № 2 (1966). ⁴² A. P. Subramaniam, M. L. Parimoo, Nature, 198, № 4880 (1963). ⁴³ C. D. Werner, Ber. Dtsch. Ges. Geol. Wiss., B11, № 1 (1966). ⁴⁴ W. Wimmenauer, Chronique mines et rech. minière, 30, № 313 (1962).