

А. И. КРИВЦОВ, А. Н. ГЕРАКОВ
О РУДООТЛОЖЕНИИ НА ГРАНИЦАХ СРЕД С РАЗЛИЧНОЙ
ПРОНИЦАЕМОСТЬЮ

(Представлено академиком В. И. Смирновым 26 V 1971)

Приуроченность гидротермального и гидротермально-метасоматического оруденения к границам сред, обладающих близким химическим составом, но различной проницаемостью, в ряде случаев объясняется явлениями экранирования восходящих растворов малопроницаемыми пачками, залегающими над высокопроницаемыми (^{1, 8, 10}). В то же время, известны логические среды с обратным соотношением проницаемости (^{3, 9}). Поэтому гипотеза экранирования гидротермальных растворов требует дополнения.

Работами В. И. Смирнова (¹¹) и других исследователей (^{4, 7}) показано, что выпадение вещества из гидротермальных растворов может быть обусловлено изменением их состояния, связанным, в частности, с падением или повышением давления и температуры. Анализируя данный вопрос применительно к условиям рудоотложения в открытых трещинах, Ч. Ф. Парк и Р. А. Мак-Дормид (⁷) предполагают, что изменение состояния растворов на суженных участках трещин связано с падением давления, сопровождающимся, согласно принципу Бернулли, увеличением скорости движения растворов.

Аналогичную трансформацию состояния растворов следует рассматривать в качестве одной из причин рудоотложения на границах различных литологических сред и для гидротермально-метасоматических месторождений. В подобных условиях, как показано в ряде работ (^{2, 8, 13}), миграция растворов может рассматриваться как движение жидкости в пористых средах, подчиняющееся закону Дарси (¹³),

$$Q = K\omega h, \quad (1)$$

где Q — расход фильтрующегося раствора; K — коэффициент фильтрации, отражающий проницаемость среды; ω — площадь поперечного сечения, через которую фильтруется поток; h — градиент напора.

Для двух граничащих сред с проницаемостями K_1 и K_2 , расположенных в области фильтрации, при равенстве расхода и сечений фильтрующейся колонны растворов из (1) следует обратная зависимость между проницаемостями сред и градиентами напоров в них, т. е.

$$K_1/K_2 = h_2/h_1. \quad (2)$$

Поскольку градиент напора и общее давление в гидротермальной системе функционально связаны между собой, то граница сред с различными проницаемостями и должна являться областью изменения состояния растворов. При этом, как видно (1) и (2), изменение давления будет тем интенсивнее, чем контрастнее по проницаемости соприкасающиеся литологические пачки, независимо от того, в каких пространственных соотношениях они между собой находятся.

Приуроченность рудных тел к границам сред с различной проницаемостью описана в работах (^{1, 3, 8-10}). Мы ограничимся рассмотрением двух конкретных случаев, для которых было проведено моделирование на аналоговых электрогидродинамических устройствах — ЭГДА (¹²).

Первый случай в целом отвечает приуроченности рудных тел к границе высокопроницаемых пород с вышележащими малопроницаемыми, т. е. сочетанию рудоподводящего канала с экранирующим горизонтом.

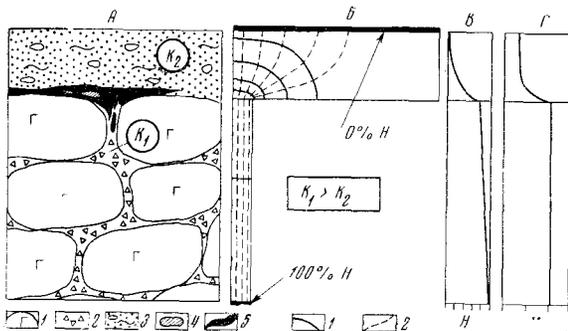


Рис. 1

Рис. 1. Схематический геологический разрез (А): 1 — шаровые и подушечные лавы; 2 — межшаровые гиакокластиты; 3 — песчано-глинистые отложения с редкими обломками размером до 3 см; 4 — обломки пород, частично замещенные сульфидами; 5 — медноколчеданные руды. Модель с гидродинамической сеткой (Б): 1 — линии равных напоров; 2 — линии тока. Даны графики изменения напора (В) и относительных скоростей (Г) по оси моделируемой области

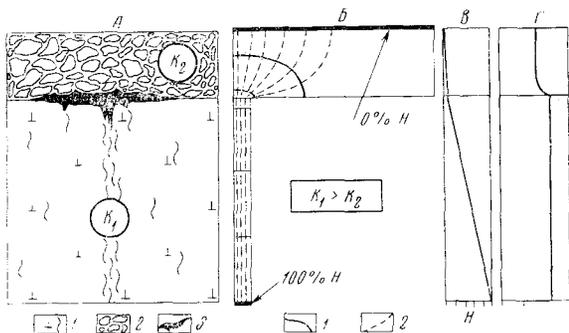


Рис. 2

Рис. 2. Схематический геологический разрез (А): 1 — расланцованные туфолавы; 2 — туфоконгломераты; 3 — золото-полиметаллические руды. Б — Г — то же, что на рис. 1

В подобной обстановке, в частности, локализована одна из залежей Юбилейного медноколчеданного месторождения (Южный Урал), приуроченная к области контакта шаровых лав основного состава с вышележащими песчано-глинистыми отложениями (рис. 1А). Она имеет в целом пластообразную форму, располагается в обеих граничащих средах и, по представлениям одного из авторов данной работы, сформирована путем частичного замещения нелигитифицированных осадков в условиях, близких к гидротермально-осадочным. Аналогичные рудные тела описаны также Г. Борхертом⁽¹⁴⁾ на месторождении Мискини в Турции.

Рассмотренной обстановке может отвечать модель, в которой высокопроницаемый канал (межшаровые полости, выполненные раздробленным гиакокластическим материалом) прерывается по восстанию менее проницаемой средой (песчано-глинистые отложения) (рис. 1Б). Соотношение мощностей канальной и перекрывающей частей модели выбрано как 1:2. При этом стенки канала рассматриваются как непроницаемые в силу того, что проницаемость вмещающих его пород на несколько порядков ниже, чем проницаемость перекрывающей среды. Другим ограничением является исключение из рассмотрения возможной уводящей фильтрации по горизонтальной границе соприкасающихся сред.

Моделирование движения растворов в подобной обстановке было проведено для условий с тремя различными соотношениями проницаемостей ($\kappa = K_1/K_2 = 1,8; 5,3; 42,8$). Как видно из рис. 1В, Г, на границе сред с различной проницаемостью имеет место резкое, скачкообразное изменение градиентов напоров и относительных скоростей фильтрации, а также растекание растворов на выходе из канала в перекрывающие породы.

Второй случай отражает приуроченность рудных тел к границе низкопроницаемых пород с перекрывающими высокопроницаемыми, т. е. обратные первому случаю соотношения проницаемостей ($1/\kappa = K_2/K_1$). Подобные условия локализации оруденения описаны, в частности, на неко-

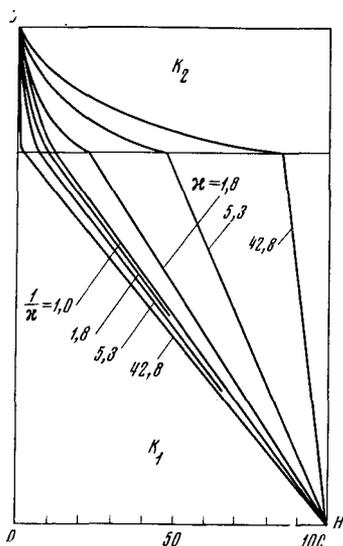


Рис. 3. Графики изменения напора (H) по оси модели (l) для различных соотношений проницаемостей

величина изменения напоров на границе соприкасающихся сред тем больше, чем выше различия проницаемостей. Вместе с тем, перепады давлений существенно больше в условиях, когда высокопроницаемые среды располагаются под низкопроницаемыми. Этим, видимо, обусловлена большая частота встречаемости рудных тел, позиция которых рассматривается как следствие экранирования восходящих растворов.

В целом изложенные выше данные показывают, что приуроченность некоторых типов гидротермально-метасоматического оруденения к границам сред с различными проницаемостями может быть объяснена трансформацией состояния гидротермальных растворов вследствие изменения давления в области упомянутых контактов. Границы такого рода благоприятны для рудоотложения и в силу особенностей внутреннего строения сред, проводящих растворы, что подтверждается тонкими экспериментальными исследованиями по фильтрации растворов в горных породах ⁽³⁾.

Центральный научно-исследовательский
горноразведочный институт цветных,
редких и благородных металлов
Москва

Поступило
14 V 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ М. Б. Бородаевская, А. И. Кривцов, Н. К. Курбанов, Изв. АН СССР, сер. геол., № 10 (1969). ² Ф. М. Боцвер, И. В. Гармонов и др., Основы гидрогеологических расчетов, 1969. ³ Г. П. Волярович и др., Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений, Тез. докл., Изд. АН СССР, 1971. ⁴ Л. Грейтон, Природа рудообразующего флюида, М.—Л., 1946. ⁵ В. А. Жариков и др., Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений, Тез. докл., Изв. АН СССР, 1971. ⁶ А. И. Кривцов, В. И. Гордица, В. Е. Кельх, Тр. Центр. н.-и. горно-разв. инст., в. 80 (1970). ⁷ Ч. Ф. Парк, Р. А. Мак-Дормид, Рудные месторождения, М., 1966. ⁸ А. А. Пэк, Д. И. Пересунько, И. И. Крашин, Геол. рудн. месторожд., № 5 (1970). ⁹ Ю. Г. Сафонов и др., Роль физико-механических свойств горных пород в локализации эндогенных месторождений, Тез. докл., Изд. АН СССР, 1971. ¹⁰ В. И. Смирнов, Геология рудных месторождений Средней Азии, 1947. ¹¹ В. И. Смирнов, Геология полезных ископаемых, 1969. ¹² П. Ф. Фильчаков, В. И. Панчинин, Интеграторы ЭГДА. Моделирование потенциальных полей на электропроводной бунде, Киев, 1961. ¹³ И. А. Чарный, Подземная гидрогазодинамика, 1963. ¹⁴ H. Borchert, Neues Jahrb. f. Mineral., 91, № 1—3 (1957).

торых золоторудных месторождениях, где в сходной обстановке отмечается резкое повышение содержания золота ⁽³⁾. В качестве конкретного примера можно привести одну из залежей Восточно-Семеновского золото-полиметаллического месторождения на Южном Урале. Эта залежь располагается в области контакта рассланцованных туфолов с вышележащими туфоконгломератами и туфобрекчиями. При этом большая часть рудной массы локализована ниже уровня контакта (рис. 2А).

Моделирование условий проводилось с теми же допущениями, что и в первом случае, но с обратными соотношениями проницаемостей подстилающих и перекрывающих частей разреза. Проведенные расчеты для трех значений $1/k = 1,8$; $5,3$; $42,8$ показали, что и в такой обстановке на границе сред происходит скачкообразное изменение градиентов напоров и относительных скоростей фильтрации (рис. 2Б, В).

На рис. 3, обобщающем данные моделирования обоих случаев, видно, что ве-