

## О ТИПАХ ЭНДОГЕННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ В ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

Д. А. ТИМОФЕЕВСКИЙ (ЦНИГРИ)

Среди обобщающих работ по вопросам эндогенной зональности, характера ее проявления большую ценность, как известно, представляют работы С. С. Смирнова (1937), В. И. Смирнова (1957, 1960, 1963, 1965), А. Д. Левицкого (1963), Е. А. Радкевич (1959), Я. Кутины (1965), Ч. Ф. Парка (1963) и др. Этими и другими исследователями рассмотрены типы и порядок проявления зональности как в региональном плане (зональность регионов, поясов, районов), так и отдельных рудных тел (Смирнов, 1957, 1960) и в меньшей степени месторождений и рудных полей. Следует отметить, что в этих работах не учитывались некоторые специфические особенности зональности золоторудных месторождений, хотя основные положения, разработанные в них, находят подтверждение в имеющихся материалах по зональности месторождений золота.

В настоящем сообщении затронуты вопросы, лишь имеющие отношение к типам зональности собственно гидротермальных золоторудных месторождений.

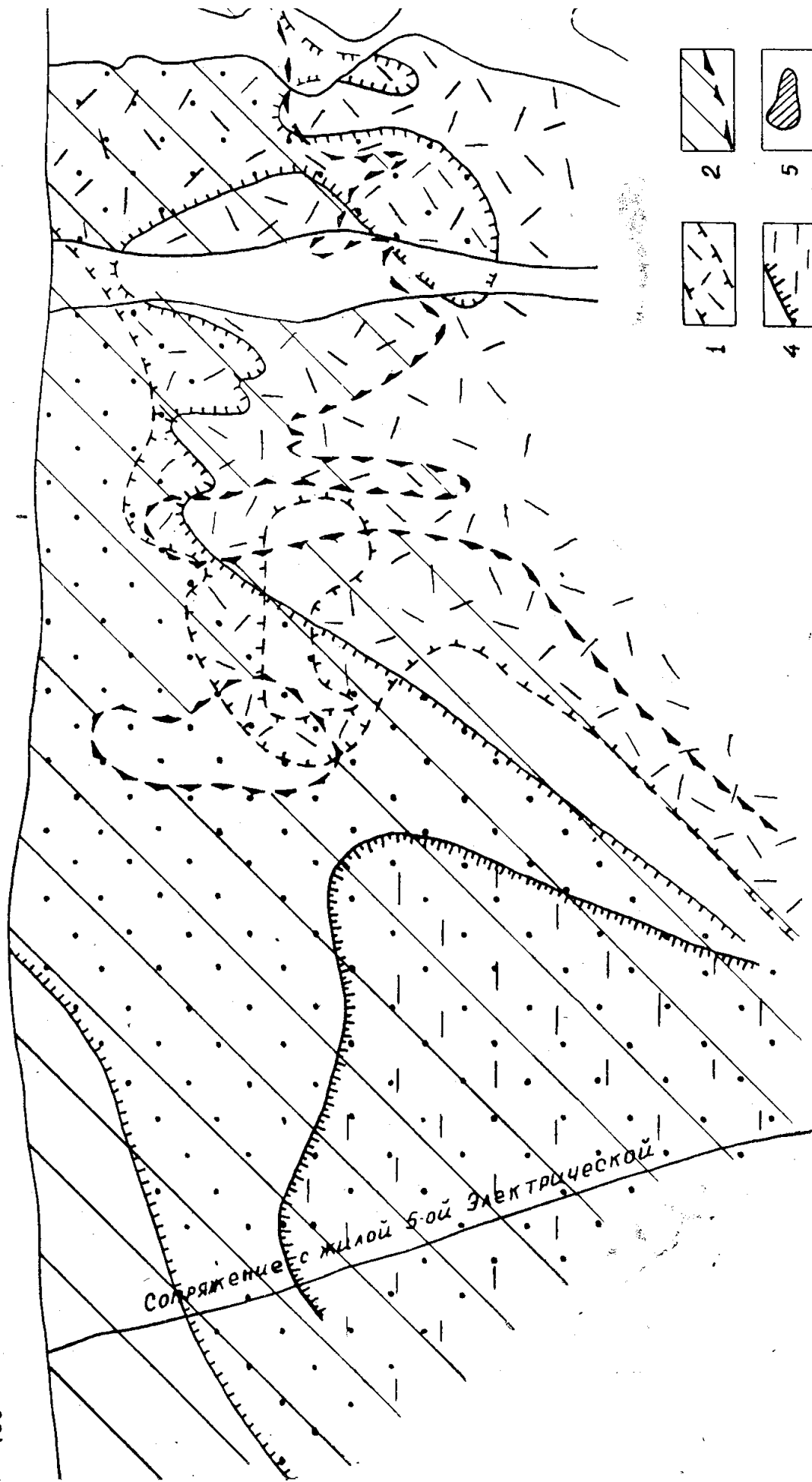
Проявления эндогенной зональности в золоторудных месторождениях могут быть сгруппированы следующим образом (с учетом классификации В. И. Смирнова, Е. А. Радкевич, Я. Кутины и др., см. табл. 1).

**1. Зональность одностадийная** — моноасцендентная, по терминологии Я. Кутины; частью зональность отложения, по Ю. А. Билибину (1954), отражающая закономерное изменение вещественного состава руд в одном или нескольких рудных телах, отложившихся из растворов одной стадии минерализации. Она подразделяется на зональность эволюции растворов и реакционную зональность.

1. Эволюция растворов (собственно физико-химическая), обусловленная преимущественно изменением температуры, кислотности-щелочности, активности ионов рудообразующих растворов и в меньшей степени давления и других факторов физико-химического характера. Часто наиболее важные из этих факторов проявлялись совместно.

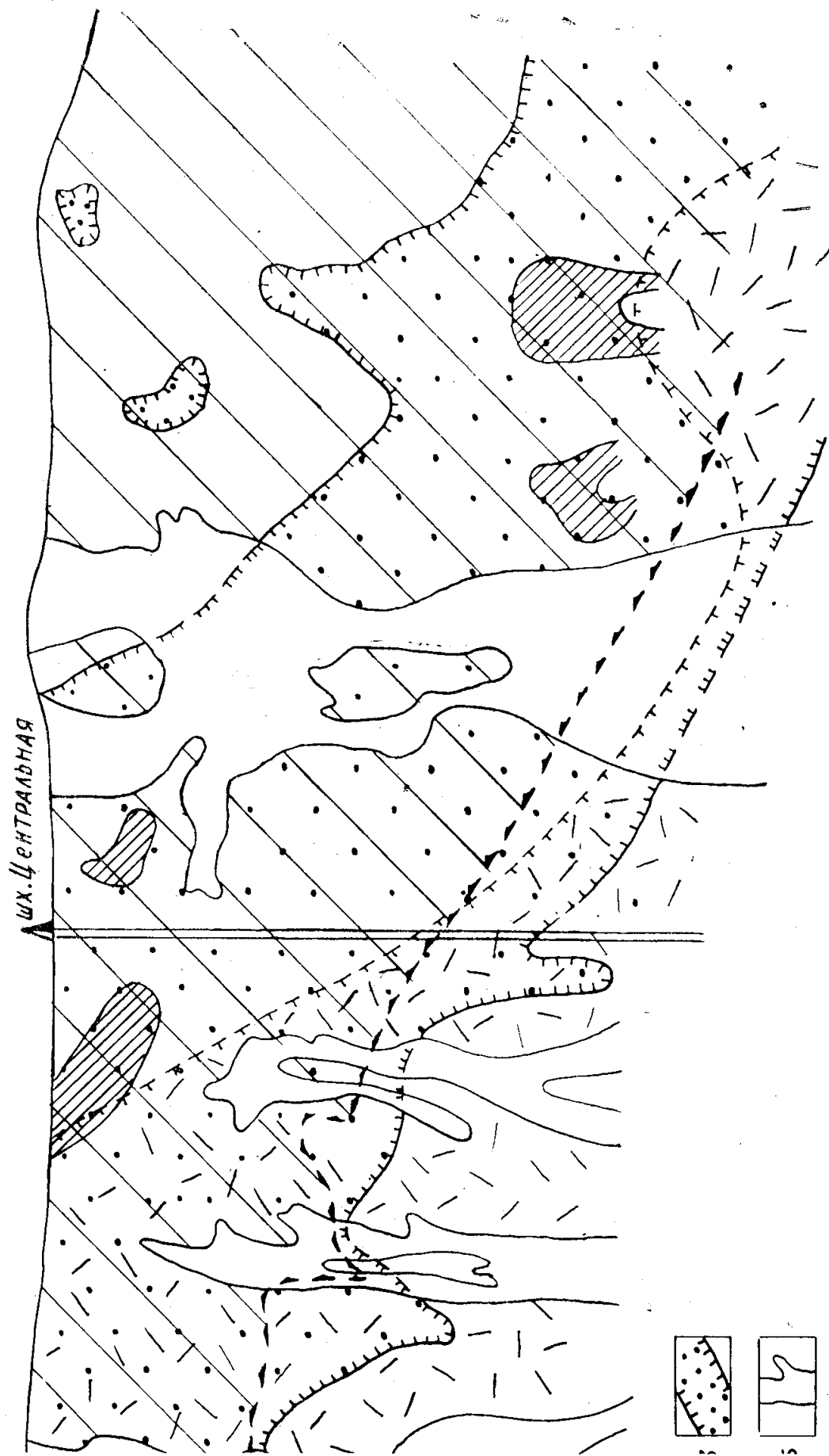
Зональность «эволюции растворов» может быть с некоторой условностью (по ведущей роли того или иного из факторов, вызвавших ее образование) разделена на «температурную», «отложения», «перепада давления» и «смещения гидротерм» с вадозовыми водами.

**а. Температурная зональность**, обусловленная главным образом понижением температуры рудообразующего раствора и изменением гео-



Фиг. 1 Схема распространения минер Кузнецовской и Ново-Электрической Дар феевскому. 1—зона распространения квартоже, пирито-арсенопиритовой; 3-го же, то-халькопиритовой минеральных ассоциаций развития сульфатномонитовой и карбонатная минеральные ассоциации

СВ



льных ассоциаций в плоскости жил Ново-  
сунского месторождения, по Д. А. Тимо-  
фееву. 1—турмалиновой минеральной ассоциации; 2—  
зеленито-сфалеритовой и тетраэдриго-бурнони-  
циной; 4—участки развиты пирротина; 5—  
минеральной ассоциации; 6—перезжаты руд-  
о выгнутые полосы). Кварцево-пиритовая  
звигты повсеместно

термических зон вокруг остывающих магматических массивов, с которыми генетически связано оруденение.

Такая одностадийная зональность намечается на месторождении Мойна в Тасмании (Williams, 1958, Park, 1963). Здесь оловянно-вольфрамовые руды, расположенные вблизи гранитов, сменяются в удалении от интрузивного массива свинцово-цинковыми, медными и золотыми рудами.

Вертикальная зональность некоторых месторождений Восточного Саяна, выражающаяся сменой кварцевых руд со сложной сульфидной минерализацией на глубине пирито-кварцевыми, Левицким В. В. (1966) также рассматривается как температурная.

Г. М. Бировляским (1954) температурная зональность отмечается для ранних ассоциаций Кочкарского рудного поля, однако вопрос здесь остается дискуссионным. По неопубликованным данным Ю. И. Новожилова и В. М. Яновского, зональность ранних стадий этого месторождения скорее можно отнести к зональности литологической или отложения.

**б. Зональность отложения** (по Ю. А. Билибину), обусловленная эволюцией состава растворов в связи с изменением концентрации или активности ионов, распада комплексных соединений, в меньшей степени изменением давления и других факторов физико-химического характера.

Такая зональность на Дарасунском месторождении (Тимофеевский, 1967) проявилась при образовании рудных комплексов некоторых из 7 основных стадий минерализации. На западном фланге рудного поля изменяется состав продуктивных ассоциаций пирротино-тетраэдритобурнонитохалькопиритовой (5-й) стадии минерализации. В жилах на глубинах ниже 210 м развита пирротино-халькопиритовая с кубанитом ассоциация (фиг. 1), а не пирито-тетраэдритобурнонитохалькопиритовая, характерная для всего рудного поля. На Западном фланге рудного поля, вмещающие рудные тела — габброиды, обогащены титано-магнетитом и магнетитом, железо из которых при их гидротермальном изменении заимствовалось гидротермальными растворами, и при дефиците серы развивался пирротин, а не пирит, как в других частях рудного поля.

На этом месторождении, вскрытом выработками до глубины более 600 м, вертикальная зональность отложения выражается в возрастании роли пирита с глубиной в пирито-арсенопиритовой ассоциации, в уменьшении содержания сульфо-антимонитов свинца за счет увеличения антимонита, (на глубине 300—400 метров жилах Главной, Н.-Кузнецовской и др.), в увеличении с глубиной роли кварца за счет сульфидов. Все это согласуется с представлениями об уменьшении кислотности растворов при их подъеме в верхние зоны.

В других районах СССР одностадийная зональность типа отложения отмечается в некоторых месторождениях золота Средней Азии (Королева и др., 1966), Средне-Витимской горной страны (Загоскин, 1963), Кавказа (Магакьян, 1963 и др.). Из зарубежных месторождений заслуживают быть отмеченными: Колар (Индия), кварцевые золотосодержащие жилы которого, бедные сульфидами, без существенных изменений в составе прослеживаются до глубин 3300 м (Рожков, 1966), отмечается лишь постепенное увеличение пробности золота от 800 до 930 (Park, 1963); Крипли Крик (Колорадо), в рудных столбах которого, прослеженных до глубин порядка 700 м, намечается также зональность отложения, выражающаяся в снижении содержания золота в рудах с глубиной и увеличении в них количества сфалерита.

**в. Зональность перепада давления и смещения гидротерм с вадолитом**

зовыми водами выявляется исследованиями Н. В. Петровской, П. С. Бернштейна, М. Г. Андреевой и другими на Балейском месторождении Восточного Забайкалья. Здесь в близповерхностных условиях формирования месторождения зональность резко проявилась в снижении содержания золота с глубиной наряду с другими изменениями минерализации. Такая зональность объясняется резким изменением термодинамических условий (особенно перепада давления со вскипанием) в зоне смещения глубинных растворов с вадозовыми водами; она возникла на фоне пульсационного рудного процесса и образования многостадийной зональности, связанной со структурными факторами, в том числе неоднородным строением блоков с развитой внутри их различной минерализацией.

Подобного генезиса зональность, вероятно, проявлялась и в ряде других близповерхностных месторождений эпitherмального типа, например, Центральной Чукотки (Сидоров, 1965).

**2. Реакционная или литологическая зональность** (состава пород, по В. И. Смирнову); основным фактором, обусловившим ее образование, является взаимодействие гидротермальных растворов с вмещающими породами.

На Бериккульском месторождении в Мартайге (Тимофеевский, 1952) наблюдается смена кварцевых и кварцево-сульфидных жил, залегающих в порфиритах Мартайгинской формации, сульфидными залежами (Хатимскими телами), залегающими среди известняков кембрия<sup>1</sup>. На Ольховском месторождении (Восточный Саян) литологическая зональность выражается в смене кварцевых жил (бедных сульфидами), приуроченных к силикатным породам, сульфидными залежами, залегающими среди карбонатных пород. Образование сульфидных залежей объясняется падением кислотности гидротермальных растворов при их прохождении среди карбонатных магнийсодержащих пород и рассеиванием кремнезема в последних с образованием серпентина (Тимофеевский, 1950). Литологический контроль в размещении оруденения того или иного характера описан и в других месторождениях Восточного Саяна (Левицкий, 1966).

Большую роль литологический фактор играл при образовании зональности на месторождениях Алдана, Лебедином и др. (Петровская, Казаринов, 1952 и др.); Березовском месторождении на Урале (Бородаевская, Бородаевский, 1947; Самарцев, 1957); Мозер-Лоуд в Калифорнии (Конноли, Гиллюли, Росс, 1937).

Из всех приведенных примеров видно, что литологический состав вмещающих пород при образовании зональности в ряде случаев является весьма существенным фактором.

**II. Зональность многостадийная** (пульсационная, по С. С. Смирнову, 1937; стадийная, по В. И. Смирнову, 1965 и др.; полиасцендентная, по Кутине, 1965 и др.) характеризуется закономерным распределением в пространстве зон развития разностадийных минеральных ассоциаций.

Среди проявления этого класса зональности можно выделить два типа:

1. Пульсационно-структурную (зональность повторного тектонического разрыва и тектонического раскрытия, по В. И. Смирнову), обусловленную последовательным приоткрыванием трещин (чаще с наращиванием) или возникновением новых разрывных нарушений в процессе рудообразования.

<sup>1</sup> На месторождении Бериккуль имеет место типичный случай образования сульфидных столбов в благоприятных для этого условиях структуры и состава вмещающих пород (прим. ред.).

2. Пульсационно-физико-химическую, обусловленную изменением физико-химических условий, главным образом температуры, рН растворов и в меньшей степени перепадом давления, подвижностью компонентов и другими факторами физико-химического характера.

В чистом виде **пульсационно-структурная зональность** проявляется редко; известна она на месторождении Радлик в Чехословакии (Magavek, 1963). В жиле Сислер, выполняющей трещину оперения крупного разлома, в примыкающей к разлому части на протяжении 200 м преобладают карбонаты, в центральной — кварц, а в северной, удаленной от разлома части на протяжении 200—300 м развиты сульфиды меди, свинца и сурьмы, ассоциирующие с золотом. Такая зональность, проявившаяся и в других жилах, объясняется последовательным наращиванием к северу оперяющих разлом рудовмещающих трещин<sup>2</sup>.

В месторождениях золота Сибири элементы структурной зональности намечаются на месторождениях Средне-Витимской горной страны (Загоскин, 1963), Средней Азии (Королева и др., 1966) и других местах.

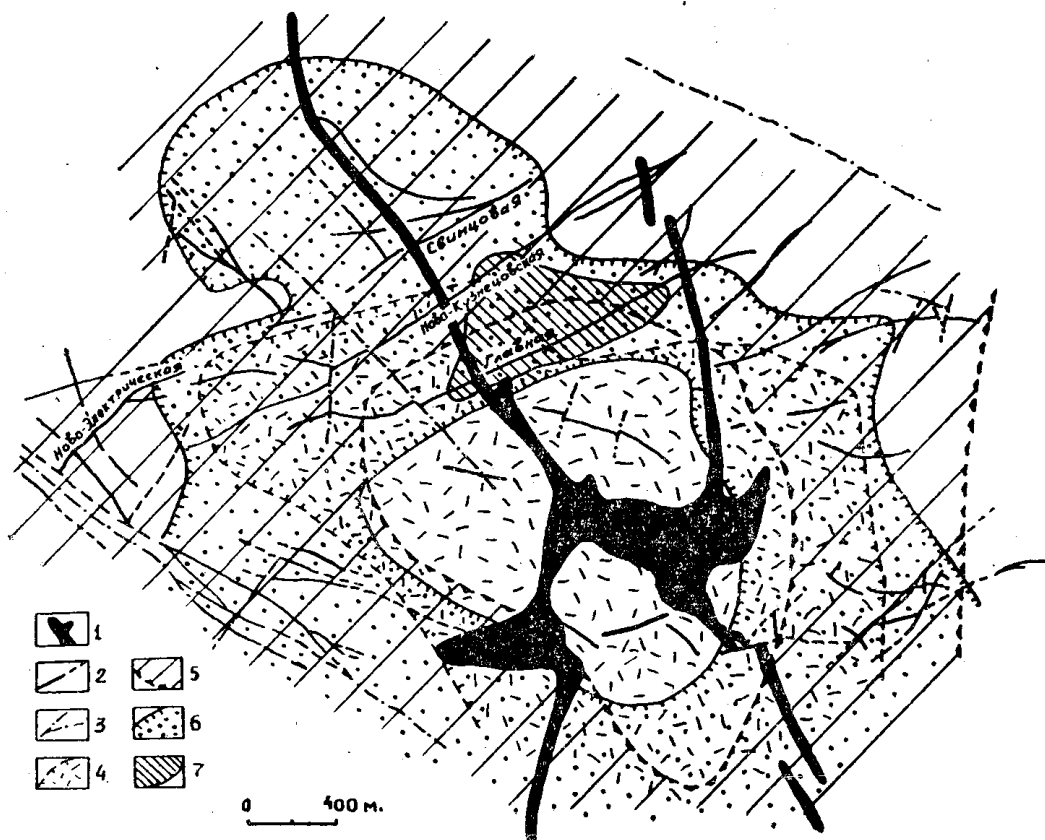
Примером **пульсационной физико-химической зональности**, в образовании которой ведущими являются не структурные факторы, может служить зональность Дарасунского рудного поля, характеризующаяся концентрическим размещением зон развития разностадийных минеральных ассоциаций вокруг трубообразных тел плагиогранит-порфиров и связанных с ними брекчий взрыва (Тимофеевский, 1959, 1967 и др.).

В центральной части Дарасунского рудного поля развиты ранние минеральные ассоциации: кварцево-турмалиновая и кварцево-пиритовая (последняя бывает развита и в других частях рудного поля). Эту зону, частично перекрывая ее, сменяет зона арсенопиритовой минерализации 3-й стадии (фиг. 2), внешние контуры распространения которой еще не установлены и намечаются лишь в восточной части рудного поля. Галенито-сфалеритовая, золото-бурнонито-тетраэдрито-халькопиритовая минеральные ассоциации развиты в зоне, расположенной ближе к центру, чем арсенопиритовая зона, и частично перекрывают ее. Внешняя граница распространения продуктивных ассоциаций уверенно установлена лишь на восточном и северо-восточном флангах рудного поля.

Изучение характера размещения минералов и полезных компонентов в крупных эксплуатирующихся жилах до глубин более 600 м (фиг. 1) позволило выявить в них не только горизонтальную, но и вертикальную (прямую и обратную) зональность, отражающую концентрическую зональность рудного поля. При этом устанавливается, что контуры распространения минеральных ассоциаций разных стадий минерализации погружаются от центральной части рудного поля к периферии.

Генезис такой концентрической (объемной) зональности обуславливается многими факторами, но ведущую роль среди них, судя по всем данным, играет изменение кислотности-щелочности и температуры растворов по пути следования в сторону от главного подводящего канала, фиксируемого телом плагиогранит-порфиров с брекчиями взрыва. Вблизи последних с ранними стадиями рудного процесса устанавливается интенсивное кислотное выщелачивание, окварцевание, серицитизация, турмалинизация и другие изменения, связанные с этим процессом. Устанавливается также, что в начале каждой стадии минерализации кислотность и температура были более высокими и снижались к концу стадий. Выявляется общая отчетливая тенденция падения температуры от ранних стадий (380—400°C для раннего кварца и турмалина, по определениям Ю. В. Ляхова методом гомогенизации)

<sup>1</sup> Следовательно, прежде всего обусловлено явлениями структурного порядка. Прим. ред.



Фиг. 2 зонально-концентрического размещения минеральных ассоциаций на Дарасунском рудном поле, по Д. А. Тимофеевскому. 1 — плагиогранит-порфиры с брекчиями взрыва; 2 — золотоносные кварцево-сульфидные жилы; 3 — разрывные нарушения; 4 — зона распространения кварцево-турмалиновой минеральной ассоциации; 5 — зона распространения пирито-арсенопиритовой минеральной ассоциации; 6 — зона распространения в жилах галенито-сфалеритовой и тетраэдрито-бурнонито-халькопиритовой минеральной ассоциаций; 7 — зона распространения сульфоантимонитовой минеральной ассоциации. Кварцево-пиритовая и карбонатная минеральные ассоциации развиты повсеместно.

к поздним (последняя стадия — карбонатная — откладывалась при температуре ниже  $100^{\circ}\text{C}$ ).

Роль структурных факторов не является решающей, так как зоны распространения определенных одностадийных минеральных комплексов охватывают не всю длину подновляющихся в соответствующей стадии жильных трещин, а лишь отдельные отрезки последних, находящихся в контурах зон, благоприятных по термодинамическим условиям для минералообразования, что хорошо отражается в размещении минеральных комплексов на площади рудного поля и внутри жил, а также внутри многих рудных столбов. Последние, по имеющимся материалам, приоткрывались на всем их протяжении, а рудный материал откладывался в каждую стадию минерализации лишь в определенных местах столбов, увязывающихся с общей объемной зональностью рудного поля.

Немаловажную роль физико-химические факторы и в том числе геотермический градиент играли, по И. В. Кунаеву (1963), при формировании многостадийной зональности в месторождениях Сихотэ-Алия и в районах нижнего Амура, а также, по И. Х. Хамрабаеву (1963), в Узбекистане при формировании ряда месторождений. В первом случае золото-кварцевые месторождения располагаются в 1—6 км от гранитоидных массивов сенонского возраста, ближе к которым они

сменяются золотоносными кварцево-арсенопиритовыми, затем кварцево-молибденитовыми или кварцево-вольфрамовитыми месторождениями. В Узбекистане пояса золото-арсенопирит-кварцевых жил располагаются на некотором расстоянии от материнских верхнекарбонатных интрузивов, прорывающих верхнесилурийскую песчано-сланцевую толщу и окруженных вдоль контакта линзами скарнов с шеелитом и молибденитом. Во внешней, удаленной от массива зоне, за поясом развития золотоносных кварцевых жил последние сменяются зоной кварцево-карбонатных жил с сульфидами свинца, цинка, меди.

III. **Зональность сложного типа**, или комплексная (по В. И. Смирнову), обусловленная сочетанием зональности многостадийной и одностадийной. Хорошим примером такой зональности могут служить месторождения Дарасунское и Балейское в Восточном Забайкалье, месторождения Среднего Витима (Кедровское и др.), Кочкарское на Урале, месторождения Средней Азии.

Таблица 1

Типы зональности золоторудных месторождений

Классы зональности	Типы зональности	Примеры месторождений
I. Одностадийная	1. Зональность эволюции растворов (физико-химическая)	
	а) температурная	Кочкарское (Урал), Мойна (Тасмания)
	б) отложения	Дарасунское (В. Забайкалье), Кедровское (Ср. Витим)
	в) перепада давлений	Балейское (В. Забайкалье), месторождения Центр. Чукотки
	2. Реакционная (доставка пород)	Ольховское (Вост. Саян), Бериккуль (Кузнецкий Алатау), Березовское (Урал)
II. Многостадийная	1. Пульсационно-структурная	Кедровское (Ср. Витим), Радлик (Чехословакия)
	2. Пульсационно-физико-химическая	Дарасунское (В. Забайкалье), Центральное (Кузнецкий Алатау)
III. Сложная или комплексная	Разнообразные типы, обусловленные сочетанием одностадийной и многостадийной зональности	Дарасунское, Балейское (В. Забайкалье), Кочкарское (Урал).

Прочие типы зональности, как-то: вызванные морфологическими особенностями рудовмещающих структурных элементов, их пересечением, подпруживающими структурами и другими причинами,— в основном являются локальными, хотя в ряде случаев и имеют большое значение при проведении поисково-разведочных работ.

Изучение зональности, ее генезиса и закономерностей в размещении минеральных парагенетических ассоциаций и золота позволяет в сочетании с другими геологическими факторами эффективнее проводить поисково-разведочные работы и правильно оценивать перспективы месторождений и рудных полей. Хорошим примером применения для практических целей выявленных закономерностей в распределении минеральных ассоциаций является Дарасунское рудное поле, на котором в соответствии с концентрически-зональным распределением зо-



лотоносных минеральных ассоциаций производятся поисково-разведочные работы и оценка перспектив месторождения. На этом месторождении интервал промышленного оруденения оценивается в несколько сот метров, а глубина оруденения является весьма разнообразной. В центральных частях рудного поля продуктивные части рудных тел уничтожены эрозией, в зоне выхода продуктивных ассоциаций на поверхность глубина промышленного оруденения колеблется в зависимости от эрозионного среди продуктивных частей жил, а в периферических частях рудного поля промышленное оруденение не выходит на поверхность и многие рудные тела являются слепыми, а глубина промышленного оруденения наибольшей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Билибин Ю. А. К вопросу о вертикальной зональности рудных месторождений. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 80, вып. 2, 1954.
- Вировлянский Г. М. К вопросу о первичной зональности в гидротермальных месторождениях. Зап. Всесоюз. минер. общ., ч. 83, вып. 3, 1954.
- Загоскин В. А. Первичная зональность в золоторудных жилах Средне-Витимской горной страны. Геол. рудн. месторожд., № 5, 1963.
- Калинников Д. И. Геология главнейших золоторудных месторождений СССР, Т. У. Кузнецкий Алатау. НИГРИзолото, 1952.
- Королева Н. Н., Королев В. А. Золото-сульфидное оруденение в карбонатных породах — новый тип золоторудной минерализации в Средней Азии. Геол. рудн. месторожд., т. VIII, № 5, 1966.
- Кунаев И. В. О зональности размещения редкометалльно-золотого оруденения Северного Сихотэ-Алиня и нижнего Приморья. Конфер. «Пробл. постмагматич. рудообраз.», т. I, Прага, 1963, стр. 194—199.
- Левицкий В. В. Структура и зональность золотого оруденения в типичном рудном районе Сибири. В сб.: «Вопросы генезиса и закономер. размещения эндогенных месторожд.», изд. «Наука», стр. 316—326, 1966.
- Радкевич Е. А. О типах вертикальной и горизонтальной зональности. «Сов. геол.», 1959, № 9.
- Самарцев И. Т. Новые данные о строении Березовского золоторудного поля (Средний Урал). Тр. ЦНИГРИ, вып. 68, 1967.
- Сидоров А. А. Золото-серебряное оруденение Центральной Чукотки. Изд. «Наука», 1966.
- Смирнов В. И. Типы гипогенной зональности гидротермальных рудных тел. Международ. геол. конгресс, 21 сессия, доклады советских ученых, проблема 16, М., 1960.
- Смирнов В. И. Региональная и локальная эндогенная рудная зональность. Конфер. «Проблемы постмагматич. рудообраз.», т. 2, Прага, 1965.
- Смирнов С. С. К вопросу о зональности рудных месторождений. Изв. АН СССР, сер. геол., № 6, 1937.
- Тимофеевский Д. А. Геология главнейших золоторудных месторождений СССР, т. I, НИГРИзолото, 1950.
- Тимофеевский Д. А., Боришанская С. С., Щеглов П. И., Бернштейн П. С., Калинин Д. И. Геология главнейших золоторудных месторождений СССР, т. V, Кузнецкий Алатау. НИГРИзолото, М., 1952.
- Тимофеевский Д. А. О первичной зональности на примере Дарасунского месторождения Восточного Забайкалья. Тр. ЦНИГРИ, вып. 31, 1959.
- Хамрабаев И. Х. Первичная зональность на некоторых высокотемпературных месторождениях Средней Азии и возможная причина этого явления. Конфер. «Проблемы постмагматич. рудообраз.», т. I, Прага, 1963.
- Kutina I. The concept of monoascendent and polyascendent zoning. Конфер. Пробл. постмагмат. рудообраз. т. II, Прага, 1965.
- Maravek P. A. Contribution to the study of zonal structure of gold-bearing veins. Конфер. Пробл. постмагмат. рудообраз. т. I, Прага, 1963.
- Park Jr, Ch. F. Zoning in ore deposits (The pulsation theory and the role of structure in zoning). Конфер. Пробл. постмагмат. рудообраз. т. I, Прага, 1963.