

ҚР ҰҒА-ның Хабарлары. Геология және техникалық ғылымдар сериясы.  
Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук. 2012. №4. С. 13–21

УДК 553.3.086.5(574.3)

*М.Ш. ОМИРСЕРИКОВ<sup>1</sup>, Л.Д. ИСАЕВА<sup>2</sup>*

### **МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МОДЕЛЬНЫХ ПОСТРОЕНИЙ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (на примере месторождения Коктенколь)**

Пішімді құрылуга негізделген геологиялық зерттеудің дамуы қарастырылады. Руда қалыптастыру теориясының даму және зерттеу аумағында пішінді құрылудың салыстырмалы талдауы көлтіріледі. Қектенкөл кенорнының мысалында оның қалыптасуында термодинамикалық пішін құрылған. Руда қалыптастыру кезеңіне, оның уақыт және кеңістік бойынша зоналық айқындалуына сандық бағалар берілген. Қарқындылықпен бірге интрузивті кешендердің температуралық аймақ градиенттің тығыз корреляция және метаморфизм үдерісінің сиятын ортага қарай бағытталуы орнатылған. Геологиялық барлау мәліметтерін толықтыратын рудаланудың вертикалді және горизонталді пәрмендері нықталды.

Рассматривается развитие геологических исследований, основанных на модельных построениях. Проводится сравнительный анализ модельных построений в области исследования и развития теории рудообразования. На примере месторождения Коктенколь построена термодинамическая модель его формирования. Данна количественная оценка стадий рудообразования, проявления их зональности во времени и в пространстве. Установлена тесная корреляция градиентов температурных полей интрузивных комплексов с интенсивностью и направлением процесса метаморфизма во вмещающей среде. Определены вертикальные и горизонтальные размахи оруденения, которые дополняют геологоразведочные данные.

Development of geological researches based on modelling constructions is considered. The comparative analysis of modelling constructions in the field of research and theory development of mineralization is carried out. On an example of deposit Koktenkol the thermodynamic model of its formation is constructed. The quantitative estimation to stages of mineralization is given, to display of their ash value in time and in space. Close correlation of gradients of temperature fields of intrusive complexes with intensity and a metamorphism process direction in the containing environment is established. Are defined vertical and horizontal ore ranges which are supplemented with prospecting data.

На современном этапе развития геологической науки процесс познания характеризуется использованием большого объема разнообразной геологической, геофизической, геохимической, минералогической и другой информации. Анализ этих материалов требует специальных методов обработки и исследования. В геологии стали развиваться научные исследования, которые основываются на различных модельных построениях. Они рассматриваются как научная основа в познании геологического процесса, в частности рудообразования, и в разработке критерииев прогноза и поиска месторождений полезных ископаемых.

Известно, что теория эндогенного рудообразования рассматривает всестороннюю связь про-

цессов формирования месторождений с геологической средой во временном отрезке и в пространстве. Распространенным приемом научного познания такого геологического процесса является моделирование.

Различные концепции, теории и гипотезы процессов рудообразования развивались на уровне представлений и накопленных знаний своего времени. Существенно развивались теоретические и генетические вопросы рудообразования на основе модельных построений. Эти модели являлись **качественными**, определяющими структуру, форму, вещественный состав, что позволяло систематизировать накопленную информацию и указывать на возможную последовательность событий. Метод качественного моделирования до

<sup>1,2</sup> Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра 69 а, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева.

<sup>2</sup> Казахстан. 050013, г. Алматы, ул. Сатпаева, 22. Казахский национальный технический университет им. К.И. Сатпаева.

настоящего времени используется при изучении генезиса и описании рудообразования на месторождениях полезных ископаемых. Эти модели являются базовыми для построения других видов моделей, так как в них заложена системная информация, основные элементы и признаки изученных месторождений.

Примеры модельных построений для отдельных групп месторождений освещены во второй половине прошлого века в известных работах В.И. Смирнова (1968г.) – по колчеданным месторождениям, Г.Н. Щербы (1968, 1976, 1988 гг.), – по редкометалльным, В.А. Жарикова (1968) – по скарновым и ряда других авторов. Эти направления широко развивались и зарубежом (Hollister, 1975; Lowell, Guilbert, 1970 и др.). Представления о процессах формирования месторождений получили хорошую системную и научную основу [1–5, 10].

По мере увеличения числа месторождений резко возрос объем геологической информации. Все чаще публикуются результаты исследования по наиболее детально изученным месторождениям и рудным районам. Отдельные месторождения (наиболее крупные и хорошо изученные) возводятся в ранг типовых и с ними сравнивают изучаемые рудные объекты. В связи с этим настала необходимость системного подхода к изучению рудных месторождений, выделению и исследованию их естественных групп, характеризующихся общими определяющими факторами формирования и размещения.

В настоящее время достигнутый уровень теории рудообразования и накопленная обширная параметрическая информация по многим месторождениям (рудным формациям) дают возможность для разработки **количественных генетических моделей** рудообразующих систем, что позволяет переходить от гипотетических предложений к параметрическим генетическим построениям. Открываются новые возможности в познании причинно-следственных взаимосвязей процессов рудообразования. Высокий уровень применения современных аналитических и информационных технологий в геологических исследованиях позволяет перейти к построению количественных моделей рудообразования и, следовательно, к новому этапу познания и прогнозирования рудных месторождений.

Ниже рассматривается построение динамической модели процесса рудообразования на месторождении Коктенколь количественными методами.

**Месторождение Коктенколь.** Это крупное вольфрамово – молибденовое штокверковое месторождение на юго-западном фланге Успенской тектонической зоны трижды детально разведывалось и изучалось. Месторождение открыто Г.И. Бедровым в 1956 г. Разведывалось под руководством О. В. Иванова, В.Г. Ли, Г.А. Паркарадзе, К.Н. Фаткулина. Изучалось также В.С. Коптевым-Дворниковым, Л.П. Ермиловой, Г.Н. Щербой, А.В. Куряшовым, В.Т. Покаловым, И.В. Булдаковым, Л.Б. Ивановым, Н.Л. Раденко, Р.Н. Мальковой, Н.Л. Пламеневской, А.И. Ежовым, В.А. Павловым, В.А. Кличниковым, Г.И. Бедровым, М. Г. Георгиевской и др.

**Геологическое строение рудного поля.** Рудное поле расположено в месте пересечения продольной субширотной редкометаллоносной зоны с субмеридиональной Ортауской. Основания структуры представлены вулканогенными (андезито-дациты) и вулканогенно-осадочными отложениями среднего – верхнего девона, перекрытыми породами фамена и нижнего карбона (алевролиты, аргиллиты, углисто-кремнистые алевролиты и известняки), они заполняют в виде узких мульд осевую часть Успенского трога.

**Рудоносный гранитный массив.** Многофазный массив гранитов прорывает отложения девона и карбона и обнажен лишь в одном выступе на Северном участке. По геофизическим данным массив имеет овальную форму (размеры 18×15 км) и несколько вытянут в широтном направлении. Контакты массива падают в сторону вмещающих пород полого, за исключением северного, где магнитное поле имеет большие градиенты, указывающие на крутое падение. Его кровля оснащена выступами на глубинах 0,3–0,5 км и более, а подошва размещается на глубине 3–5 км. Вертикальная мощность массива 3–4,3 км.

Выделяются три купольные структуры, к которым приурочены основные участки месторождения – Северный, Промежуточный и Южный. Руды месторождения молибденовые, с небольшим количеством вольфрама и висмута (рис. 1).

**Контактовый метаморфизм.** Вмещающие вулканогенно-осадочные породы около интрузива ороговикованы. В карбонатных породах происходили мраморизация и скарнирование, регенерация барита и сульфидов более ранней минерализации атасуйского типа. В дорудную стадию также возникали метаморфические жилы и прожилки кварца. Прожилки рудного штокверка заполняли трещины нескольких направлений с разными углами падения, занима-



Рис. 1. Рельеф поверхности кровли «выступа» Коктенкольского массива лейкократовых гранитов (А.К.Мазуров, 2004):

- 1 – изогипсы кровли гранитного массива; 2 – тектонические нарушения;  
3 – выходы гранитов на поверхность; 4 – кварцевые штокверки с промышленным оруденением

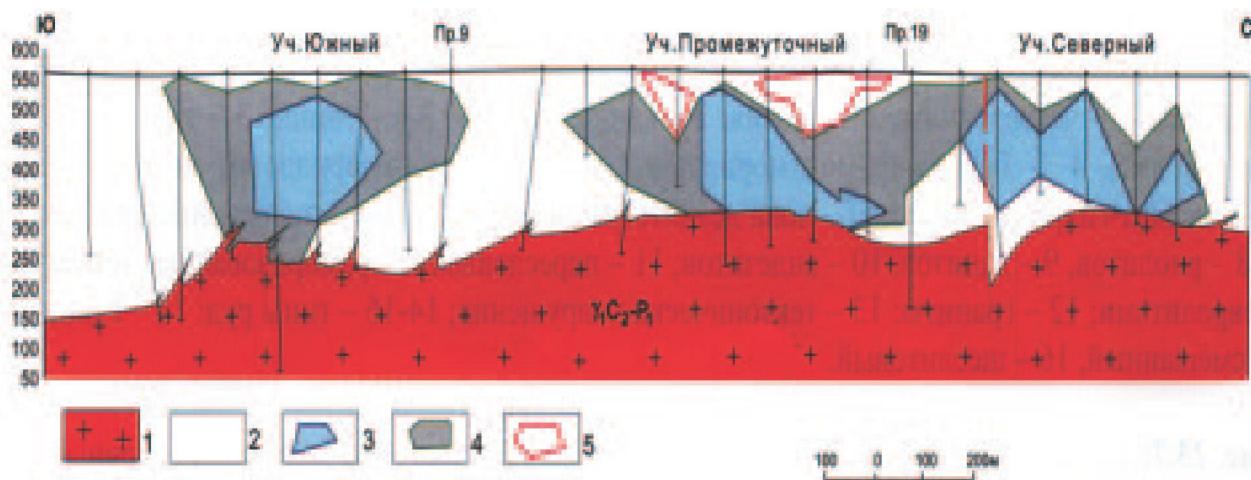


Рис. 2. Геологический разрез месторождения Коктентоль  
(А. К. Мазуров, 2004):

1 – граниты; 2 – биотизированные вулканогенно-осадочные породы франского яруса;  
3-4 – молибденовые руды: 3 – балансовые, 4 – забалансовые; 5 – вольфрамовые руды коры выветривания

ли как доинтрузивные, так и послеинтрузивные трещинные системы. Послерудные нарушения представлены сбросами (центральный грабен) и малоамплитудными зонами трещиноватости.

**Рудные стадии.** На месторождении отчетливо выражена многостадийность процесса рудообразования как в связи с отдельными комплексами, так и с их фазами: в этом отношении его можно отнести к полигенным и полихронным. С самыми ранними серыми биотитовыми гранитами калдырминского комплекса связаны альбитизация, грейзенизация и метасоматические молибденит-кварцевые прожилки. Определяющее значение в образовании руд месторождения имеют интрузивные фазы более поздних лейкократовых гранитов акшатауского комплекса. Каждая из них характеризуется последовательным развитием калишпатизации, грейзенизации, жилообразования [2–4].

Первая фаза, главным образом, молибденоносная, сопровождается грейзенами, кварц-полевошпат-кварцевыми метасоматическими прожилками и жилами выполнения. Вторая фаза несла комплексное вольфрамовое оруденение, преобладают вольфрамово-кварцевые прожилки и жилы выполнения, нередко с друзовыми структурами агрегатов. Это наиболее мощные жильные образования.

С третьей фазой связаны отдельные, достаточно крупные кварцевые жилы, по внешнему облику менее высокотемпературные, с молочно-белым кварцем, сфалеритом, блеклыми рудами и

губнеритом. Имеются внутрирудные дайки диоритовых порфиритов.

**Морфология рудных тел.** Густая сеть жил и прожилков создает рудный штокверк. Самыми распространеными (около 90%) являются крутопадающие ( $60\text{--}90^\circ$ ) прожилки в основном северо-восточного простирания (около 70%) с падением в обе стороны; менее развиты северо-западные, также с разными падениями; отмечаются и пологозалегающие системы. Мощность прожилков колеблется от нескольких миллиметров до 15 см (в среднем около 1 см), а их густота достигает 10–15 на 1 м. Штокверк приурочен к гребню рудоносных гранитов и его куполам, располагается преимущественно в надинтрузивной зоне и в теле гранитного массива проникает лишь на 100–150 м (рис.2).

**Рудная зональность оруденения.** Внизу оруденения в основном наблюдается молибден, выше к нему добавляются висмут и вольфрам, верхние уровни занимают вольфрам и его спутники (в том числе регенерированные). Телескопированная геохимическая зональность (снизу вверх и к периферии рудного поля) следующая:  $\text{Mo} > \text{Mo}(\text{Sn}, \text{Bi}, \text{W}) > \text{W}(\text{Mo}, \text{Bi}, \text{Pb}) > \text{Cu}, \text{Pb}, \text{Zn}$ .

**Минералогия месторождения.** В составе руд месторождения обнаружено (данные Г. И. Бедрова, М. Г. Георгиевской, Л. П. Ермиловой, Г. А. Паркадзе, Г. Н. Щербы и др.) более 90 гипогенных и гипергенных минералов [2,3].

**Молибденит** – наиболее распространенный рудный минерал, образует не менее пяти генераций в различных типах жил и прожилков, разви-

вается в виде вкрапленности, агрегатов и мономинеральных просечек. По распространенности уступает только пириту. В примесной форме в молибдените установлен Te, в повышенных количествах – Re (до 0,01%). Второй по значимости минерал – *вольфрамит* (несколько повышенено содержание ферберитовой молекулы), присутствует в вольфрамит-кварцевых и сульфидно-кварцевых жилах. В ряде участков отмечается обогащение минералами Ві, установлено присутствие небольших количеств Sn.

*Генезис месторождения* рассматривался многими исследователями (Г.И. Бедров, Г.А. Паркарадзе, В.Т. Покалов, Г.Н. Щерба и др.). Все исследователи связывали происхождение месторождения с интрузией лейкократовых гранитов. Доказательством этого считали тесную пространственную связь гранитов и оруденения при отсутствии других более молодых интрузивных пород; одинаковое проявление постмагматических процессов как в материнской интрузии, так и вмещающих ее породах с образованием в них сети прожилков, более или менее тождественных по строению, составу и характеру окологильных изменений; наличие одних и тех же минералов в составе интрузии (аксессорных) и в жильных образованиях месторождения. Температура, химизм растворов и стадийность минералообразования позволяют провести полную аналогию Коктенкольского месторождения с рудными штокверками Центрального Казахстана, формирование которых протекало в течение ряда последовательных стадий, с каждой из которых связан свой минеральный парагенезис, отражающий закономерно изменяющиеся физико-химические условия рудоотложения.

*РТ-условия рудообразования.* Температуры и давления при минералообразовании, а также состав растворов определялись В.А. Кормушиным, А.Б. Дарбадаевым, Ю.П. Дорошенко, Н.Н. Павлунем, Л.Д. Исаевой с применением методов термометрии и криометрии. По этим данным растворы скарнового процесса, первоначально связанного с калдырминской интрузией, на ранних этапах кристаллизации были существенно газовыми ( $T = 630\text{--}450^\circ\text{C}$ ). Ороговиковование пород протекало при  $450\text{--}430^\circ\text{C}$ . Кварцевые метаморфические жилы и прожилки формировались из жидких растворов при  $370\text{--}300^\circ\text{C}$ . Под воздействием теплового поля интрузии и поступающих растворов происходила регенерация баритов и сульфидов вмещающих пород. На первых этапах

рудной стадии при  $430\text{--}340^\circ$  кристаллизовались полевошпатовые прожилки с ангидритом, а затем, после грейзенизации при  $390\text{--}300^\circ$  и  $360\text{--}280^\circ\text{C}$  образовались две генерации прожилков, несущих основное молибденовое оруденение и в меньшем количестве вольфрамовое. Давление при этих стадиях рудообразования колебалось от 170 до 45 МПа.

Детальные термобарогеохимические исследования с использованием минералов рудного штокверка Южного участка данного рудного поля представлены в работах [2,5]. Полученные экспериментальные результаты в целом характеризуют термодинамические условия рудообразования на месторождении.

При этом актуальными вопросами остаются определение закономерностей распределения температурного поля интрузивного массива во вмещающей среде и влияние температурных полей глубинных водно-рудных растворов на различные стадии рудообразования, то есть необходимо определить закономерности распределения и изменения термодинамических и геометрических параметров рудообразования во времени и в пространстве в изучаемых месторождениях. Как было отмечено, такого рода задачи решаются количественными методами, путем решения задач теплопроводности и массопереноса применительно к рудолокализующей и рудообразующей средам [6]. Начальные и граничные условия для этих задач определяются указанными геолого-генетическими характеристиками и термобарогеохимическими данными месторождении Коктенколь. (см. табл. 1).

В молибдените содержатся рений, селен, теллур, в вольфрамите – скандий [4].

**Развитие температурного поля Коктенкольского интрузивного массива по времени и в пространстве.** Особенностью Коктенкольского месторождения является совмещенность оруденения двух комплексов – калдырминского и акшатауского. Основной рудонесущей интрузией на месторождении Коктенколь является многофазная интрузия акшатауского комплекса. Она внедрилась в интрузивную камеру, где была размещена гранитная интрузия калдырминского комплекса. Каждая фаза интрузии акшатауского комплекса рудоносная, и с ними связаны определенные рудные стадии.

Построенная динамическая модель рудообразования с участием гранитной интрузии акшатауского комплекса показывает следующее (рис. 3):

Таблица 1. Исходные данные для построения динамической модели теплового поля  
Коктенкольского гранитоидного массива

| Форма массива<br>овальная, 18x15км            | Геом.<br>размеры<br>массива, км | Т- образование, °C   |     |                      |                   |             |                                    |                      |                  |
|---|---------------------------------|----------------------|-----|----------------------|-------------------|-------------|------------------------------------|----------------------|------------------|
|   |                                 | Граниты, фазы        |     |                      | Измененные породы |             |                                    | Руд. мин             |                  |
|   |                                 | I                    | II  | III                  | Рого-<br>ники     | Скар-<br>ны | Грей-<br>зены<br>около-<br>жильные | Молиб-<br>денит      | Вольф-<br>фрамит |
| Глубина залегания                             | 4,0                             | 850                  | 850 | 810                  | 450-430           | 450-630     | 340-430                            | 350-460,<br>260- 315 | 280-380          |
| Мощность массива                              | 4,0                             |                      |     |                      | 430               | 630         |                                    | 315                  |                  |
| Длина массива                                 | 18,0                            |                      |     |                      |                   |             |                                    |                      |                  |
| Мощность купола                               | 0,5                             |                      |     |                      |                   |             |                                    |                      |                  |
| Ширина купола                                 | 2,1                             |                      |     |                      |                   |             |                                    |                      |                  |
| Коэффициент<br>температу-<br>проводности, м/с |                                 | $12,5 \cdot 10^{-7}$ |     | $10,0 \cdot 10^{-7}$ |                   |             |                                    |                      |                  |

1. В *прогрессивном этапе* охлаждения интрузии акшатауского комплекса температура по линии контакта с вмещающей средой устанавливается 580–600°C. На расстоянии 1000 м от контакта массива наблюдается прогрев вмещающей среды до 460°C. С внедрением каждой фазы интрузии эта область находится в высокотемпературном квазистационарном состоянии. Это благоприятствует протеканию процессов контактового метаморфизма во вмещающей среде.

2. Контактовый метаморфизм ярко проявляется при внедрении гранитной интрузии в слабо или неметаморфизованную породу за счет кондуктивной передачи тепла от интрузии при отсутствии потока растворов из нее. Изменения состава рудовмещающих пород при kontaktовом метаморфизме описаны в работах [2, 4, 6].

3. Максимум температуры во вмещающей среде устанавливается в течение 50 тыс. лет, после внедрения первой фазы гранитной интрузии акшатауского комплекса.

4. Продуктами контактowego метаморфизма на месторождении являются также скарны в известняках, т.е. волластонит-брестанитовые скарны. Их образование происходит при температуре 500–450 °C.

5. В период прогрессивного этапа охлаждения интрузии, температурный градиент по вертикали составляет 14 °C на каждые 100 м.

Из изложенного следует, что прогрессивный этап охлаждения гранитной интрузии акшатауского комплекса на месторождении Коктенколь порождает процессы контактового метаморфиз-

ма и автометасоматоза. По построенным модельным данным период развития процессов контактового метаморфизма и автометасоматоза занимает около 100 тыс. лет (см. рис. 3, А).

Начало периода *ретрессивного этапа* охлаждения характеризуется функционированием высокоплотных растворов, образующих высокотемпературные пегматоидные и рудные прожилки, грейзены. Температура их образования 470–260 °C, а именно пегматоидные прожилки второй рудной стадии образовались при 470–420 °C, процессы грейзенизации происходили при 420–340 °C. Основные рудоносные прожилки с молибденитом кристаллизовались при температурах 460–350 °C, с вольфрамитом – при температурах 380–280 °C. Висмутовая минерализация произошла при температурах 340–175 °C (рис. 3, Б). Давление при этом колебалось от 170 до 45 МПа.

Область возможной минерализации охватывает надкупольную подзону системы ИНЗ, где ее вертикальный размах достигает 900–950 м.

Вольфрамовые руды месторождения связаны со второй фазой гранитной интрузии этого комплекса, которая образует вторую рудную стадию. Они распространялись на более высокие гипсометрические уровни, чем молибденовые, в связи с относительно низкой температурой их образования.

К концу рудных стадий по контакту массива температура снижается до 260 °C. Во вмещающей среде, где сконцентрированы молибденовые руды, она составляет 245 °C (см. рис. 3, Б). Изменение температурного поля гранитной интрузии в пространстве и во времени показывает, что

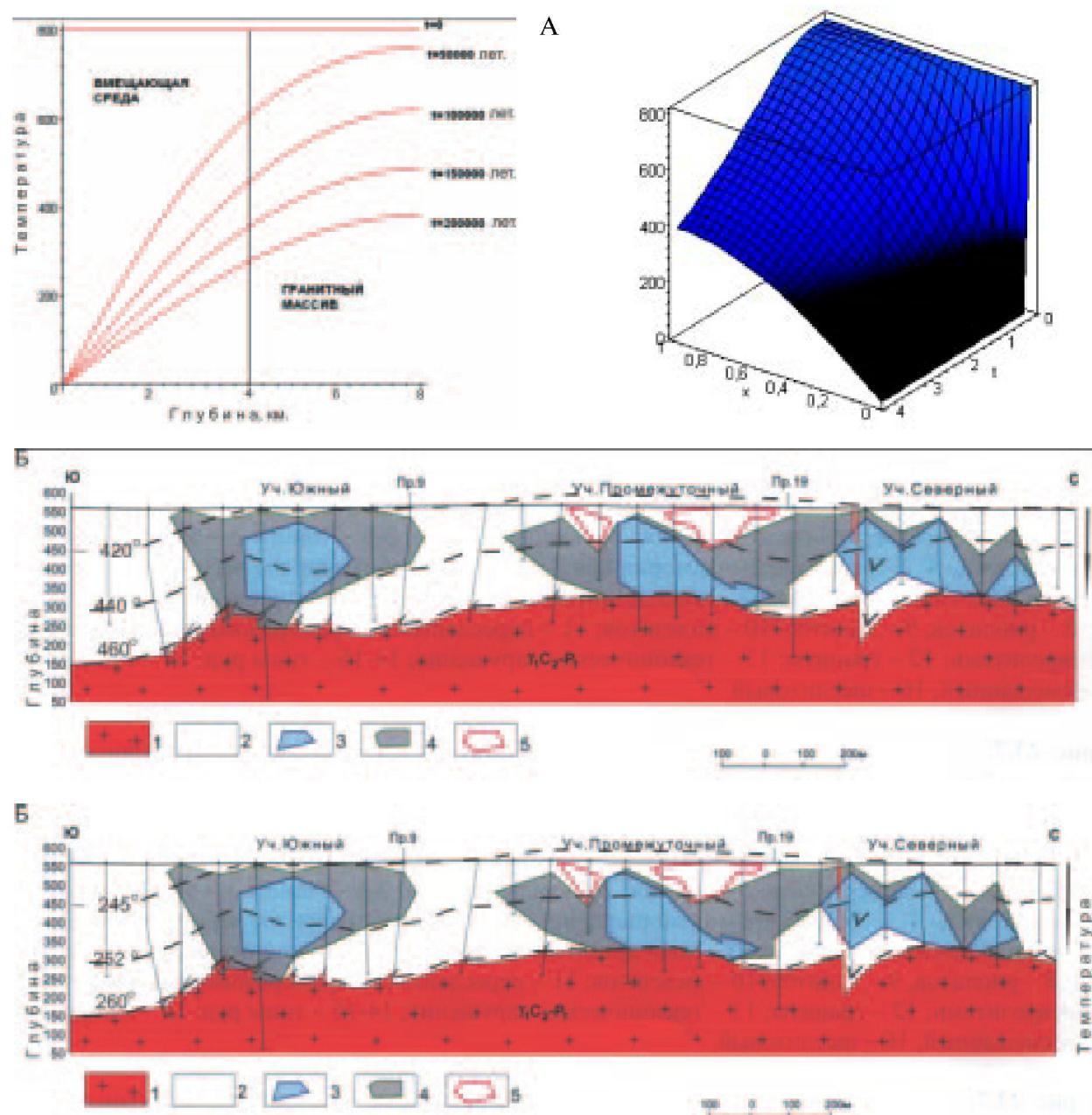


Рис. 3. Динамическая модель температурного режима формирования месторождения Коктенколь: А – объемная модель температурного поля интрузии акшатауского комплекса (температура, координаты, время); Б – динамика температурного поля интрузивного массива в области рудообразования в начале и конце периода продуктивного рудоотложения

термодинамическая обстановка среды рудообразования к концу рудного этапа становится более стационарной, с незначительными изменениями температур по вертикали.

В целом полученные данные по месторождению показывают, что кристаллизация рудных минералов на Коктенколе произошла в неравновесных условиях. К концу первой рудной стадии при 335–260 °С завершается формирование

молибденитовых прожилков с пиритом и кварцем. К концу второй рудной стадии при 335–280 °С образовались вольфрамит-кварцевые жилы и прожилки, а к концу третьей стадии при 325–270 °С формировались отдельные кварцевые жилы. При этом рудообразующие растворы могли поступать только из корневых частей гранитной интрузии, где температура по расчетным данным составляет 340–350 °С.

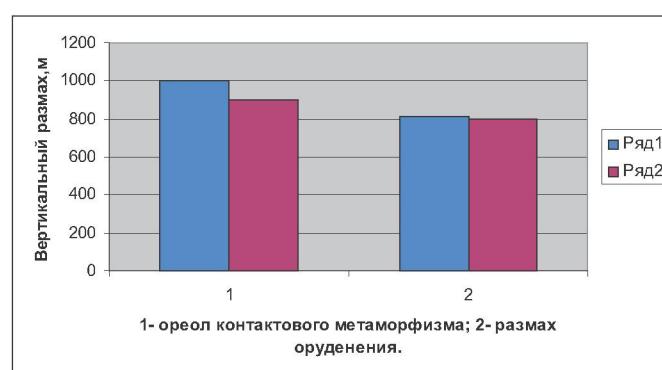


Рис. 4. Сравнительный анализ результатов количественного моделирования и аналитических исследований на месторождении Коктенколь.

Гистограмма вертикального размаха процессов:  
ряд 1 – результаты моделирования; ряд 2 – результаты термометрии

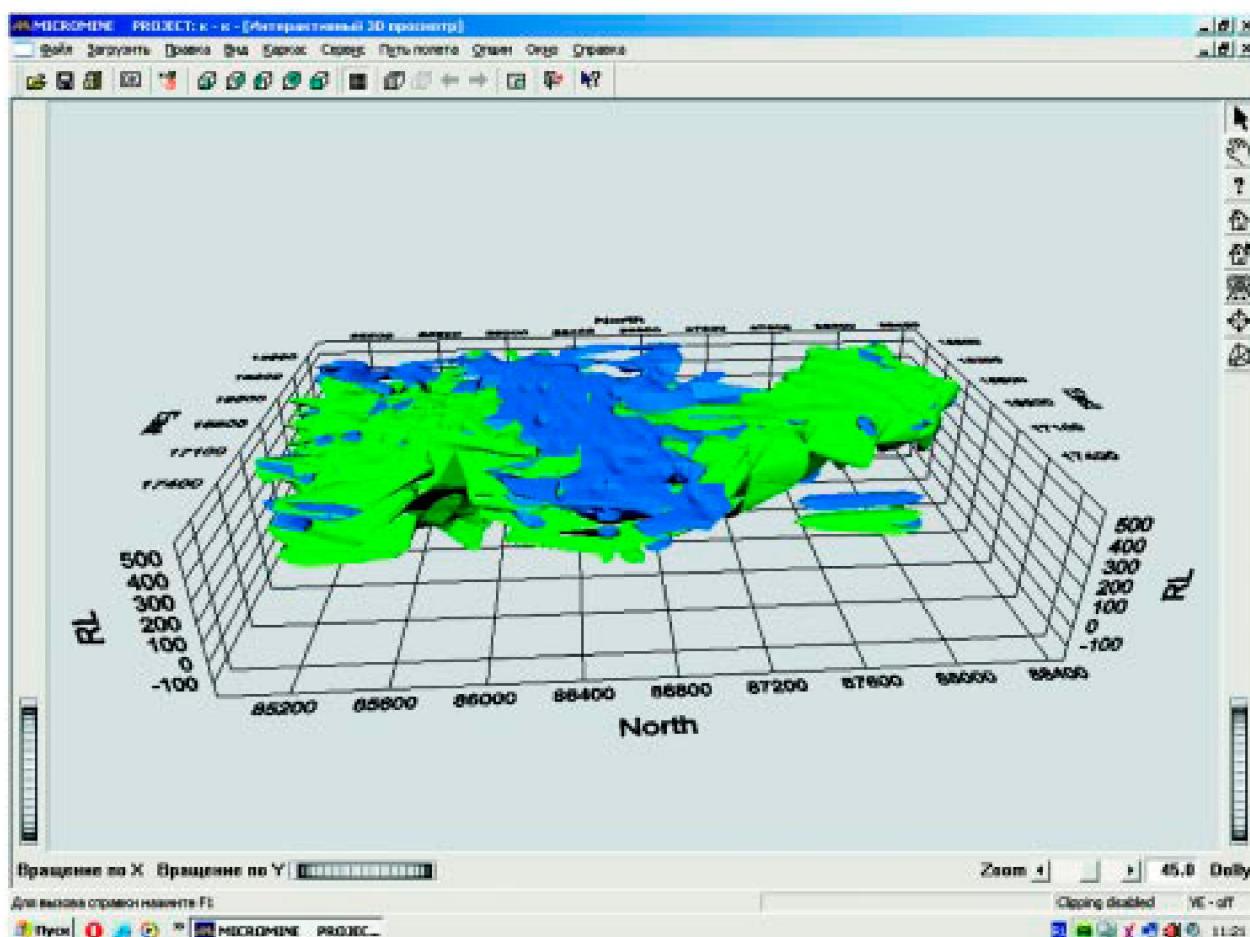


Рис. 5. Модель пространственного распределения молибденовых (зеленый цвет) и вольфрамовых (синий) руд на месторождении Коктенколь

Не менее важной характеристикой минералообразования на месторождении является **вертикальный градиент температуры**. К началу продуктивного отложения рудных веществ для каж-

кой рудной стадии расчетный температурный градиент был около 14 °C на каждые 100 м.

К тому же вертикальный градиент температуры не является постоянной величиной относи-

тельно времени. К концу рудных стадий значение вертикального температурного градиента в области рудообразования снижается до 5 °С на каждые 100 м. Следовательно, к концу рудных стадий появляется разница между температурами рудообразующих растворов и рудолокализующей среды, поэтому минералы отлагались в неравновесных условиях независимо от морфологии рудных тел.

Вертикальный температурный градиент определяет вертикальный размах оруденений. На месторождении Коктенколь это составляет 800–850 м. Полученные расчетные данные подтверждаются геологическими данными, где вертикальный размах оруденения составляет около 800–900 м, а продуктивная зона – 700–800 м [4] (рис. 4).

Такая сходимость размеров зон минерализации и размаха оруденения по вертикали является показателем степени достоверности количественного моделирования.

Динамическая модель формирования месторождения Коктенколь включает и оценку **продолжительности рудообразования**. Согласно начальному условию решения задач теплопроводности оценивается длительность всех этапов рудообразования.

Продолжительность формирования каждой из трех рудных стадий на месторождении Коктенколь по данным количественного моделирования оценивается в 200 тыс. лет, тогда как общая продолжительность рудообразования – 600 тыс. лет.

Полученная динамическая модель позволяет количественно представить влияние температурного режима гранитной интрузии акшатауского комплекса на процесс метаморфизма рудовмещающей среды и тем самым на все этапы процесса рудообразования на месторождении Коктенколь.

Таким образом, вертикальные и горизонтальные градиенты (изменение) температурного поля на месторождении определяют: направление и

интенсивность процесса метаморфизма, термодинамических стадий кристаллизации рудных минералов и их зональности. Это позволяет решать практические задачи, т.е. прогнозировать и оценить размах зон минерализации в вертикальном и горизонтальном направлениях на месторождении и рудном поле или их флангах [6]. Об этом свидетельствует полная корреляция динамической модели температурного поля рудонесущей интрузии с трехмерной пространственной моделью рудного поля (рис.5).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов В.А. Геолого-генетические модели рудных формаций// В кн. Генетические модели эндогенных рудных формаций. Новосибирск. 1983. Том I. С. 5-14.
2. Щерба Г.Н., Кудряшов А.В., Сенчило Н.П. Редкометальное оруденение Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1988. 221 с.
3. Беслаев Х.А., Мироновиченко Л.А. Атлас моделей месторождений полезных ископаемых. Алма-Ата: Наука, 2004. С.135.
4. Месторождения редких металлов и редких земель Казахстана: Справочник. Алматы, 1998. 102 с.
5. Дорошенко Ю.П., Павлунь Н.Н. О термобарогеохимических условиях формирования молибден-вольфрамовых месторождений Центрального Казахстана // ДАН СССР. Наука, 1983. Т. 273. №4. С. 969-972.
6. Омирсериков М.Ш., Исаева Л.Д. Особенности моделирования динамики рудообразующих систем оруденения и критерии прогнозирования, //Геология и охрана недр. Алматы 2009. №2. С.30-34.
7. Лиханов И.И., Тем А.А. Определение одновременности -разновременности внедрения трапповых силлов на основании температур контактового метаморфизма // Докл. АН СССР. 1991. Т. 321, №5. – С. 1141-1143.
8. Жариков В.А., Эпельбаум М.Б., Зарайский Г.П., Симакин А.Г., Балашов В.Н. Моделирование процессов тепло- и массопереноса на грейзеновом месторождении Акчатау. // Очерки физико-химической петрологии. М.: Наука, 1988. Вып. 15. С.38-69.
9. Условия образования редкометалльных месторождений, связанных с гранитоидным магматизмом //Смирновский сборник-2004. М.: Фонд им. ак. В.И. Смирнова, 2004. С.105-192.