



НЕЛИНЕЙНАЯ МЕТАЛЛОГЕНИЯ И БОЛЬШЕОБЪЕМНОЕ ЗОЛОТООРУДЕНЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННОГО ТИПА (НА ПРИМЕРЕ ФЕДОРОВСКО-МАГЫЗЫ-КАЛТАССКОЙ РУДОКОНТРОЛИРУЮЩЕЙ ЗОНЫ КУЗНЕЦКОГО АЛАТАУ И ГОРНОЙ ШОРИИ). Ч. 1

А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко

На основе принципов и критериев нелинейной металлогении рассмотрены закономерности проявления флюидного мантийно-корового рудогенеза, а также особенности формирования и пространственного размещения Федоровско-Магызы-Калтасской структурно-металлогенической зоны и ее золоторудных месторождений и проявлений нетрадиционного типа. Охарактеризованы геотектоническая позиция зоны, стратиграфическое положение рудовмещающей метаморфической толщи, этапы ее развития, петрохимические и геохимические особенности, фациальные условия метаморфизма и геодинамические обстановки формирования протолита. Оценена роль флюидного мантийно-корового рудогенеза, протекающего в земной коре при участии интрателлурических флюидов, в образовании большеобъемных золоторудных месторождений и проявлений Федоровско-Магызы-Калтасской зоны. Предложены геологические, тектонические, геохимические, минералогические, изотопные критерии этого типа рудогенеза.

Ключевые слова: нелинейная металлогения, флюидный мантийно-коровый рудогенез, интрателлурические флюиды, Кузнецко-Алтайский глубинный разлом, Томский выступ, Федоровско-Магызы-Калтасская зона, золотооруденение нетрадиционного типа.

NONLINEAR METALLOGENY AND BULK GOLD MINERALIZATION OF UNCONVENTIONAL TYPE (IN TERMS OF THE FEDOROVKA-MAGYZY-KALTAS ZONE OF KUZNETSK ALATAU AND GORNAYA SHORIA). Pt 1

A. B. Shepel, M. E. Gavrilenko

Regularities in manifestation of a fluid mantle-crust ore genesis are considered relying on principles and criteria of nonlinear metallogeny. Peculiarities of development and special distribution of the Fedorovka-Magzy-Kaltas structure-metallogenic zone and its gold ore deposits and occurrences of the unconventional type are also described. The zone's geotectonic position, a stratigraphic position of an ore-bearing metamorphic rock mass, stages of its development, petrochemical and geochemical features, environmental conditions of metamorphism and geodynamical settings of protolyte formation are characterized. The role of the fluid mantle-crust ore genesis taking place in the Earth's crust with the participation of intratelluric fluids in the formation of large-scale gold deposits and occurrences of the Fedorovka-Magzy-Kaltas zone is estimated. Geological, tectonic, geochemical, mineralogical, and isotope criteria of this ore genesis are put forward.

Keywords: nonlinear metallogeny, fluid mantle-crust ore genesis, intratelluric fluids, Kuznetsk Alatau deep-seated fault, Tomsk nose, Fedorovka-Magzy-Kaltas zone, gold mineralization of unconventional type.

Геотектоническая позиция и особенности рудогенеза

После опубликования в 1985 г. А. Д. Щегловым и И. Н. Говоровым монографии «Нелинейная металлогения и глубины Земли» возникло новое направление в науке о закономерностях размещения эндогенных месторождений полезных ископаемых, именуемое нелинейной металлогенией [29]. Объектом ее изучения являются «мантийные месторождения», возникшие в земной коре в результате внедрения рудоносных мантийных магм или проникновения рудоносных мантийных (интрателлурических) флюидов, обусловивших процессы флюидного мантийно-корового рудогенеза¹.

Участие мантийных (интрателлурических) флюидов в процессах корового петро- и рудогенеза признают многие исследователи. При этом одни считают, что эти флюиды, проникая в земную кору, принимают непосредственное участие в коровом рудогенезе [5, 18]. Другие отстаивают трансмагматическую природу мантийных флюидов, парагенетически связывая их с магмой, которая рассматривается в качестве проводника флюидов из мантии в земную кору, обеспечивая их сохранность. Как отмечает Д. С. Коржинский [13], поля эндогенного оруденения связаны не обязательно с крупными интрузиями гранитоидов, но и с крупными разломами, вдоль которых проявляются потоки восходящих растворов. Это трансмагматические потоки, которые первоначально вызывают магматическое замещение, а при

¹Здесь и далее термин «флюидный мантийно-коровый рудогенез» использован для обозначения процессов формирования эндогенных месторождений,

протекающих в земной коре при участии мантийных (интрателлурических) флюидов.



угасании потоков и кристаллизации магмы они принимают участие в постмагматических процессах вместе с остаточными растворами магм. Наконец, третьи предлагают заменить термин «транзмагматические растворы» менее определенным термином «интрателлурические потоки» или «интрателлурические растворы», допуская, что транзмагматическими они становятся лишь в частном случае, когда их проводником служит магма [18].

Пространственное размещение «мантийных месторождений» [29] контролируется протяженными (сотни километров) долгоживущими глубинными разломами. Последние, рассекая тектоносферу на глубину многие десятки километров, играют роль проводников мощных и долговременных потоков вещества и энергии. Они рассматриваются как диссипативные деструктивные линейные зоны глубинного заложения, проникающие в верхнюю мантию и характеризующиеся широким развитием явлений флюидного тепло- и массопереноса из нижних горизонтов литосферы *по всему объему разлома* [16]. При этом мантийные флюиды довольно автономны и по пути продвижения в земную кору слабо взаимодействуют с субстратом мантии, о чем свидетельствует высокая степень их геохимической и рудной специализации [14].

Как установлено, существует пространственная связь *крупных, включая большеобъемные, золоторудных месторождений* с геологическими структурами глубинного и сверхглубинного заложения типа долгоживущих глубинных разломов или древних рифтов [7, 8]. Это позволяет предполагать участие интрателлурических флюидов в процессах флюидного мантийно-корового рудогенеза. Одна из обобщающих работ, затрагивающая проблему золотогенерирующей роли мантийных флюидов для метаморфических толщ Енисейского края, Кольского полуострова и других регионов, написана А. М. Сазоновым [21]. В Кузнецком Алатау Л. В. Алабин и Ю. А. Калинин связывают проявления золотосульфидной и золото-сульфидно-кварцевой минерализации в Кельбесской, Кундат-Кундустюльской, Федоровско-Магызинской и других зонах смятия и локального гидротермального метаморфизма с воздействием «восстановленных метаморфогенно-гидротермальных растворов» [1, 2]. В недавно опубликованной монографии В. Н. Сазонова и В. А. Коротеева, посвященной золотопродуктивным формациям Урала, в качестве одного из типоморфных признаков крупных месторождений рассматривается «нелинейность металлогении и гетерогенность источников рудного вещества (как правило, с определяющей ролью мантийного)» [22].

В западной части Алтае-Саянской складчатой области крупной структурой, контролирующей размещение большеобъемных золоторудных проявлений нетрадиционного типа, является Федоровско-Магызы-Калтасская структурно-металлогеническая зона (ФМКЗ) Кузнецко-Алтайского золоторудного

пояса [6, 25, 26]. Один из таких объектов – крупное большеобъемное Кедровское проявление, прогнозные ресурсы золота которого по категории P_1 составляют 77 т при среднем содержании 2,5 г/т и бортовом – 0,2 г/т [4].

Геотектоническое положение, геологическое строение и история формирования ФМКЗ

Федоровско-Магызы-Калтасская зона имеет протяженность более 150 км и включает Федоровское золоторудное месторождение, а также Кедровское, Магызинское, Калтасское, Пахомовское, Ортонское и другие золоторудные проявления. Ее *геотектоническое положение* контролируется Кузнецко-Алтайским глубинным разломом, который трассируется резкой (2–3 мГл/км) гравитационной ступенью. ФМКЗ располагается в пределах жесткой структуры – Томского выступа древнего кристаллического фундамента, прослеживается вдоль восточной его границы и отделяется тектоническим разломом от неметаморфизованных толщ фанерозоя (рис. 1).

Приуроченность ФМКЗ и ее золоторудных объектов к глубинному разлому – *благоприятная предпосылка* для проявления процессов флюидного мантийно-корового рудогенеза и формирования гидротермальных мантийных месторождений, поскольку, как уже отмечалось, структуры типа глубинных разломов представляют собой крупнейшие проводники тепла и вещества из глубоких недр Земли [24], способствуя проникновению в земную кору не только мантийных магм, но и глубинных флюидов и контролируя таким образом процессы корового магматизма, метаморфизма и рудообразования.

В истории формирования рудоконтролирующей ФМКЗ можно выделить три этапа, в ходе которых проявилась активная роль мантии – магматический, метаморфический и постметаморфический (гидротермально-метасоматический). На *магматическом этапе* активная роль мантии выразилась в том, что в геологическом строении зоны принимают участие продукты мантийного магматизма, послужившие протолитом для калтасского зеленосланцевого комплекса раннего рифея, который является рудовмещающей толщей ФМКЗ. В петротипическом разрезе комплекса по руч. Калтас проявления мантийного магматизма представлены вулканитами основного и щелочного ультраосновного состава – базальтами, андезибазальтами, щелочными базальтоидами, фойдитами, фонолитами (?) (рис. 2, а). Среди вулканитов отмечаются линзы, прослои известняков, доломитов и терригенных пород (алевролитов, аргиллитов и песчаников).

В процессе регионального метаморфизма вулканиты были превращены в хлорит-актинолит-альбитовые, биотит-хлорит-роговообманково-альбитовые, биотит-куммингтонитовые и биотит-альбитовые сланцы. По петрохимическим и геохимическим характеристикам аповулканитовые метаморфиче-

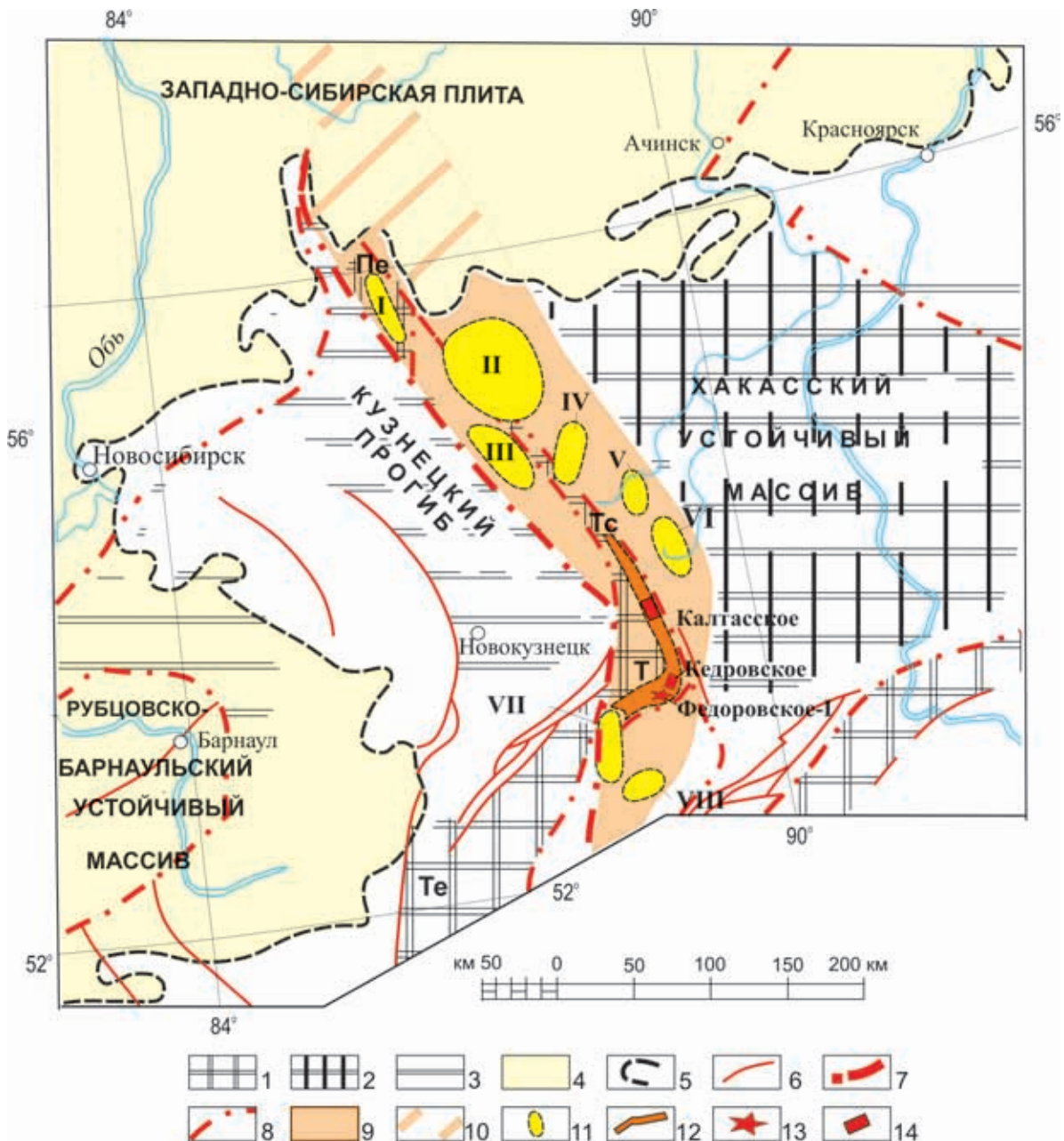


Рис. 1. Геотектоническая позиция Кузнецко-Алтайского золоторудного пояса и Федоровско-Магизы-Калтасской золоторудной зоны

1 – ядра антиклинориев и выступы кристаллического фундамента (Те – Телецкий, Т – Томский, Тс – Терсинский, Пе – Пезасский), сложенные раннепротерозойскими кристаллосланцевыми комплексами древней коры континентального типа и раннерифейскими зеленосланцевыми комплексами по вулканитам островных дуг, заложившихся на древней континентальной коре; 2 – протерозойские комплексы под позднеорогенными впадинами, выполненными средне- и позднепалеозойскими образованиями; 3 – прогибы краевые и поперечные герцинской складчатости начальной и средней стадии развития; 4, 5 – Западно-Сибирская плита (4) и ее границы (5); 6 – тектонические нарушения; 7 – Кузнецко-Алтайский глубинный разлом; 8 – ветви глубинного разлома, разграничивающие складчатые системы и зоны разного возраста консолидации; 9, 10 – Кузнецко-Алтайский золоторудный пояс: 9 – прослеженный, 10 – предполагаемый под платформенным чехлом; 11 – золоторудные районы: I – Кельбесский, II – Мартайгинский, III – Федоровско-Пезасский, IV – Саралинский, V – Коммунарковский, VI – Балахчинский, VII – Спасский, VIII – Верхнемрасский; 12 – Федоровско-Магизы-Калтасская золоторудная зона, включающая Ортон-Балыксинский рудный район; 13 – золоторудное месторождение Федоровское-I; 14 – золоторудные проявления: Кедровское, Калтасское

ские сланцы калтасского комплекса обнаруживают сходство с вулканитами толеитовой / известково-щелочной, реже – с вулканитами щелочной / субщелочной серий. Судя по характеру распределения

редкоземельных элементов, метаморфиты, протолитом которых служили вулканические породы щелочной – субщелочной серий, сформировались в геодинамических условиях континентального



рифта, а толеитовой и известково-щелочной серий – в условиях энсиалической островной дуги, заложившейся на древней коре континентального типа [23, 26] (см. рис. 2, б). Возникновение рифта в зоне Кузнецко-Алтайского глубинного разлома может быть связано с проявлением глобального процесса континентального рифтогенеза, который, по мнению большинства исследователей, имел место 1,6 млрд лет тому назад, т. е. в начале раннего рифея. В это время крупные блоки дорифейской континентальной коры, которые существовали в западной части Алтае-Саянской складчатой области, испытывали деструкцию в связи с заложением рифтовых зон [3].

Можно предположить, что на магматическом этапе формирования ФМКЗ возникла геохимическая специализация на золото ее рудовмещающего зеленосланцевого комплекса. Она стала следствием повышенной золотоносности мантийных магм, явившихся продуктом плавления золотоносного мантийного субстрата и послуживших протолитом рудовмещающего зеленосланцевого комплекса.

На метаморфическом этапе развития ФМКЗ режим растяжения, свойственный рифтогенезу, сменился режимом тангенциального сжатия, который сопровождался рассланцеванием пород. В этих условиях взаимодействие мантии и земной коры осуществлялось не путем внедрения мантийных магм, а посредством фильтрации мантийных флюидов. Этому способствовало рассланцевание пород, создавшее анизотропную среду, высокопроницаемую для флюидов. Повышению проницаемости пород для мантийных флюидов могли

способствовать региональные зоны сдвига, нередко сопровождающие глубинные разломы, располагаясь на стыке жестких плит над поднятиями границы Мохоровичича, которые связаны с мантийными плюмами [20].

Поступление мантийных флюидов в земную кору считается главной причиной регионального метаморфизма. Этот процесс не мог проявиться в результате лишь погружения или деформации пород, поскольку предполагает большой приток тепла из подкорковых частей Земли, в 2,5–3,0 раза выше среднего. Носителями тепла при метаморфизме служили восходящие потоки интрателлурических флюидов. В мантии они возникали в тех случаях, когда температурный режим не обеспечивал плавления мантийного субстрата [24]. Проводниками потоков интрателлурических флюидов были глубинные разломы, которые функционировали как аномально проницаемые диссипативные сквозькорковые структуры, где миграция флюидов осуществлялась через *весь объем вещества*, сопровождаемая широким развитием явлений флюидного тепло- и массопереноса [24].

В результате регионального метаморфизма, протекающего при участии мантийных флюидов, вулканогенные и осадочные породы, представляющие собой протолиты рудовмещающего калтасского комплекса, были превращены в метаморфические сланцы, в которых отмечены следующие минеральные парагенезисы (см. таблицу [26]).

Судя по составу минеральных парагенезисов, рудовмещающая толща подверглась метаморфизму в РТ-условиях *зеленосланцевой фации* при температуре **около 460 °С** и давлении ниже **2 кбар**, а также

Рис. 2. Соотношение $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ и SiO_2 (а) и распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) (б) в метавулканитах и аповулканитовых метаморфических сланцах рудовмещающего калтасского зеленосланцевого комплекса раннего рифея в петротипическом разрезе по руч. Калтас (Томский выступ) [23]

а) 1–5 – верхняя толща калтасского комплекса: 1 – метабазальты, метадолериты, редко трахиандезибазальты, трахибазальты и эпидот-хлорит-актинолитовые, эпидот-хлорит-куммингтонитовые, эпидот-хлорит-роговообманковые, редко биотит-хлорит-куммингтонит-роговообманковые сланцы; 2 – метаандезиты, метаандезибазальты и серицит-хлоритовые сланцы; 3 – метадациты, метариодациты, реже их лавобрекчии и хлорит-серицитовые сланцы по вулканитам кислого состава; 4 – хлорит-эпидот-куммингтонит-роговообманковые и биотитсодержащие хлорит-куммингтонитовые сланцы по лавобрекчиям и туфам андезибазальтов ($\text{SiO}_2 = 51,68\text{--}53,60\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 2,94\text{--}4,39\%$, $\text{K}_2\text{O} = 0,32\text{--}0,45\%$); 5 – хлорит-роговообманковые, биотитсодержащие хлорит-куммингтонит-роговообманковые, эпидот-хлорит-роговообманковые сланцы по туфам основного (литокласты базальтов, диабазов) и сложного (литокласты базальтов, диабазов, габбро, плагиогранитов, альбитофирров) состава; 6 – нижняя толща калтасского комплекса: высокотитанистые альбит-биотитовые, хлорит-куммингтонит-роговообманково-биотитовые сланцы по щелочным базальтоидам, реже основным фойдитам, трахибазальтам, редко трахиандезибазальтам ($\text{SiO}_2 = 43,81\text{--}52,14\%$, $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 6,30\text{--}6,64\%$, $\text{K}_2\text{O} = 1,52\text{--}3,14\%$); 7 – положение фигуративной точки до (а) и после (б) учета поправки на примесь жильного кварца в породе; 8–11 – границы полей распространения магматических пород с разной степенью общей щелочности: 8 – нижняя, 9 – верхняя границы поля субщелочных пород, 10 – нижняя граница поля щелочных пород, содержащих фельдшпатоиды, 11 – нижняя граница поля бесфельдшпатоидных щелочных пород, содержащих амфиболы и пироксены; 12 – граница области распространения составов вулканических пород

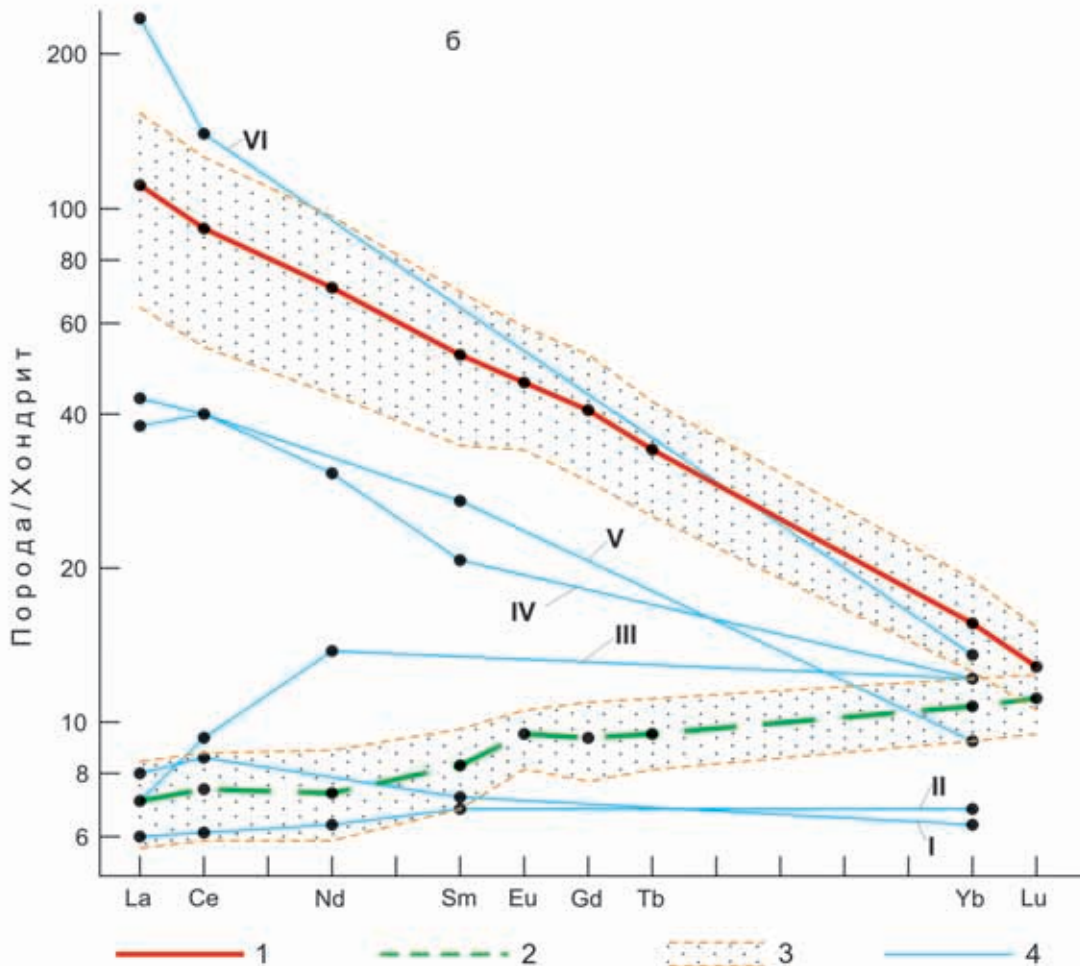
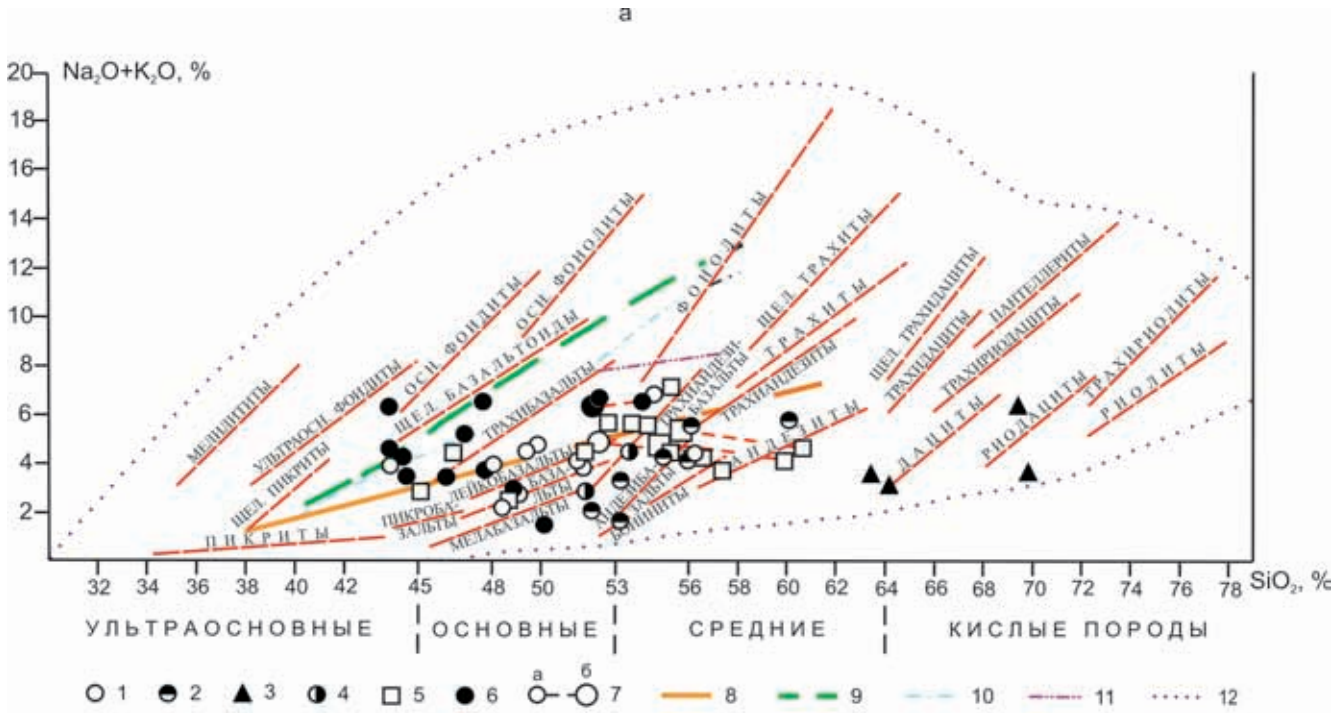
б) 1, 2 – распределение средних значений РЗЭ в метавулканитах: 1 – нижней ($n = 6$) и 2 – верхней ($n = 5$) толщ калтасской свиты в бассейне руч. Калтас, выбранной в качестве петротипа калтасского комплекса; 3 – поля составов метавулканитов нижней и верхней толщ калтасской свиты в границах 95 %-ных доверительных интервалов; 4 – кривые распределения РЗЭ в вулканитах разных геодинамических обстановок: I – базиты толеитовой серии островных дуг, II – низкокальциевые толеиты островных дуг, III – толеиты N-типа срединно-океанических хребтов (СОХ), IV – толеиты E-типа СОХ, V – базальты океанических островов, VI – базальты континентальных рифтов (K–Na субщелочная серия); n – количество проб в выборке



эпидот-амфиболитовой фации – при температуре 460–550 °С и давлении 2–6 кбар [23].

О возможном составе интрателлурических флюидов при региональном метаморфизме можно

судить по данным экспериментальных исследований. В условиях эксперимента, приближающихся к мантийным (P = 20 кбар, T = 900 °С), флюиды, равновесные с природным лерцолитом и элементар-





Минеральные парагенезисы метабазитов (1–5), метапелитов (6, 7) и карбонатных пород (8, 9) рудовмещающего калтасского зеленосланцевого комплекса

№ п/п	Состав минерального парагенезиса
1	$\pm \text{Эп} + \text{Хл}_{47-52} + \text{Би}_{50-70} + \text{Кум}_{49-65} + \text{Рог}_{50-71} + \text{Пл}_{1-31} \pm \text{Кв}$
2	$\pm \text{Эп} + \text{Хл}_{34-61} \pm \text{Би}_{49-60} + \text{Рог}_{33-60} + \text{Пл}_{2-45} \pm \text{Кв}$
3	$\text{Эп} + \text{Хл}_{40} + \text{Би} + \text{Кум}_{43-45} + \text{Пл}_{1-45} + \text{Кв}$
4	$\text{Эп} + \text{Хл} + \text{Би}_{56} + \text{Пл}_{32}$
5	$\text{Эп}_{18} + \text{Хл} + \text{Акт}_{33} + \text{Пл}_{3-11}$
6	$\text{Гр} + \text{Мус} \pm \text{Би} + \text{Хл} + \text{Пл} + \text{Кв} \pm \text{Ту} \pm \text{Грф} + \text{Ильм}$
7	$\text{Мус} \pm \text{Би} + \text{Хл} + \text{Пл} + \text{Кв} \pm \text{Ту} \pm \text{Грф} + \text{Ильм}$
8	$\pm \text{Грф} + \text{Тр} + \text{Ка} \pm \text{Кв}$
9	$\pm \text{Грф} + \text{Та} + \text{Дол} + \text{Ка}$

Примечание. Минералы: Акт – актинолит, Би – биотит, Грф – графит, Дол – доломит, Ильм – ильменит, Ка – кальцит, Кв – кварц, Кум – куммингтонит, Рог – роговая обманка, Хл – хлорит, Тр – тремолит, Ту – турмалин, Эп – эпидот. Подстрочные индексы указывают железистость минералов или содержание анортитовой молекулы в плагиоклазе. Железистость минералов

$$f = \frac{\text{Fe}^{2+}}{(\text{Fe}^{2+} + \text{Mg})} \cdot 100.$$

ным углеродом, имели преимущественно водно-углекислый состав, характеризовались восстановительными свойствами (оцененные значения $f_{\text{O}_2} = (2,92-6,14) \cdot 10^{-13}$ атм) и содержали следующие компоненты (по результатам двух опытов, мас. %): H_2O 90,79 и 91,09; CO_2 7,89 и 8,30; CO 0,13 и 0,24; H_2 0,0166 и 0,157; CH_4 0,34 и 0,63; SO_2 0,13 и 0,14; O_2 0,0006 [19].

Проникая в земную кору вдоль зон глубинных разломов, такие углекисло-водные *восстановленные* интрателлурические флюиды привносили не только тепло, но и H_2O и CO_2 . На прогрессивном этапе метаморфизма значительные объемы воды высвобождались также в результате дегидратации пород земной коры. Это приводило к разбавлению интрателлурических флюидов, приближая их состав к нейтральному. Нейтральный преобладающе углекисло-водный состав метаморфизирующих флюидов предопределял термодинамические условия регионального метаморфизма, прогрессивный этап которого протекал при подвижном поведении H_2O и CO_2 и инертном поведении других петрогенных компонентов [12]. Инертное поведение петрогенных компонентов не способствовало существенному их перераспределению в процессе метаморфизма. Масштабы перемещения компонентов ограничивались соседними зернами, маломощными прослоями и незначительными участками, обуславливая «изохимический характер» метаморфизма, осложненный локальными явлениями метаморфической дифференциации.

Вместе с тем региональный метаморфизм, «изохимический» в отношении главных компонентов, сопровождался высвобождением и растворе-

нием второстепенных (аксессуарных, изоморфных) компонентов и механических примесей, особенно находящихся в самородной форме (золото и др.) или относительно легко растворимых окислов, карбонатов, сульфидов (уран, медь, цинк и др.). Коэффициент распределения и растворимость многих этих компонентов, в частности золота, заметно меняется в процессе температурной эволюции и (или) при наличии геохимического барьера. Поэтому интрателлурические флюиды, смешавшиеся с коровыми флюидами, которые отделились при прогрессивной дегидратации, могли растворить часть золота из вмещающих пород. По мере просачивания и встречи с физико-механическими (структурные ловушки) или геохимическими барьерами они могли осаждать содержащееся в них золото. Нередко повышенные концентрации золота устанавливаются на термодинамических барьерах, которыми в метаморфических толщах служили участки изоград, характеризующиеся наиболее высокоградиентными условиями минералообразования, нестабильными минеральными ассоциациями и нестехиометрическими составами минералов [21].

Оценивая рудогенерирующую роль прогрессивного этапа регионального метаморфизма, можно согласиться с мнением, что доля рудного вещества, привнесенного и перемещенного потоками флюидов на этом этапе метаморфизма, была невелика. Она могла обеспечить только рудно-геохимическую специализацию метаморфических комплексов. Как показали исследования, наиболее вероятной причиной повышенных концентраций золота в метаморфитах Енисейского кряжа (содержание золота в них в 4,5 раза выше, чем в протолите) является воздействие на породы восстановленных интрателлурических флюидов, содержащих благородные металлы [21]. Но есть также основание предполагать, что повышенная золотоносность аповулканитовых метаморфических пород могла быть унаследована ими от протолита, представленного вулканитами основного и ультраосновного состава, имеющими мантийное происхождение и обладающими повышенной золотоносностью. По-видимому, это имело место при формировании рудовмещающего зеленосланцевого комплекса ФМКЗ. В геологическом разрезе комплекса по руч. Бол. Удила содержание золота по данным нейтронно-активационного анализа составило 13–26 мг/т, что в 4–8 раз выше такового в ультраосновных и основных магматических породах (4–5 мг/т). По данным Ю. Г. Щербакова [27] и Л. В. Алабина [1], содержание золота в метаморфитах комплекса составляет 3,2–6,8, иногда достигая 69 мг/т. Это в 2–3 раза превышает средний уровень содержания золота в других комплексах региона [28].

Наиболее высокой золотоносностью отличаются аповулканитовые метаморфические сланцы, обогащенные микровкрапленностью сульфидов – пирита, редко пирротина и др. На золоторудном месторождении Федоровское-I, входящем в со-



став Федоровско-Кедровского рудного поля ФМКЗ, содержание золота в метаморфических сланцах с вкрапленностью сульфидов достигает 0,85–1,20 г/т [1]. В петротипическом разрезе калтасского зеленосланцевого комплекса по руч. Калтас концентрация золота в 10 пробах, отобранных на расстоянии 40–150 м друг от друга вкрест простирания метаморфической толщи, по данным нейтронно-активационного анализа составила 0,2; 0,3; 0,7; 0,2; 0,4; 0,1; 2,2; 0,02; 1,4; 0,5 г/т [25, 26].

Поскольку вулканические породы (базальты, андезибазальты и щелочные ультраосновные породы, представляющие протолит рудовмещающего калтасского комплекса) являются продуктом плавления мантии, можно предположить, что геохимической особенностью мантии, вскрываемой рудоконтролирующим глубинным разломом под ФМКЗ, была повышенная ее золотоносность. Если это так, можно допустить, что мантия могла поставлять в земную кору не только магмы с повышенной золотоносностью, но и золотоносные мантийные флюиды, которые могли принимать участие во флюидном мантийно-коровом рудогенезе.

На *постметаморфическом этапе* развития ФМКЗ, когда движение потоков остывающих интрателлурических флюидов не происходило через весь объем пород, как на прогрессивном этапе метаморфизма, а локализовалось вдоль относительно узких (шириной от многих десятков до первых сотен метров) и протяженных (длиной до 4–7 км) субгласных тектонических зон, *рудогенерирующая роль флюидов* возрастала. При этом взаимодействие их с породами земной коры сопровождалось гидротермально-метасоматическим преобразованием пород со значительным привнесом петрогенных и рудных компонентов.

Согласно существующим представлениям, интрателлурические флюиды, генерируемые амагматичными подкоровыми флюидными системами и проникающие в земную кору вдоль глубинных разломов, отличались высокими восстановительными свойствами, щелочной реакцией и существенно натрово-хлоридным солевым фоном флюидов [24]. Такие флюиды могли служить эффективными транспортерами рудных компонентов, о чем можно судить на основании следующих экспериментальных данных [19].

В РТ-условиях эксперимента, близких к мантийным ($P = 20$ кбар и $T = 900$ °С), содержание петрогенных и рудных компонентов в равновесном флюиде, образовавшемся при высокотемпературном взаимодействии воды с Na-Cr клинопироксеном из мантийного лерцолита и природными сульфидами меди и никеля (миллерит, халькозин), составляло (в г/кг H_2O , нормальные условия): К 5,5; Na 61,8; Al 41,8; Ca 15,0; Mg 9,4; Cu 0,22; Ni 0,09. Щелочность растворов, извлеченных из капсул после закалки, составляла pH 9–10. Установлена высокая растворимость золота во флюиде [19].

Проникая в земную кору и охлаждаясь, рудоносные щелочные интрателлурические флюиды претерпевали эволюцию в сторону повышения кислотности. Это связано с тем, что охлаждение флюидов сопровождалось их уплотнением, конденсацией и обогащением жидкой фазы кислотными компонентами (CO_2 , H_2S , HCl, HF и др.). Благоприятным фактором, способствующим повышению кислотности интрателлурических флюидов в земной коре, являлось изменение состава вмещающей среды в сторону увеличения доли кремнекислых пород – гранитов, мигматитов, метапелитов [19]. Поступление щелочных рудоносных флюидов в алюмосиликатную среду способствовало соединению щелочных металлов с кислородом, вызывая тем самым подкисление флюидов и осаждение сульфидов [15].

В соответствии с инверсионной моделью рудогенеза [5], согласующейся с принципами нелинейной металлогении, перенос золота, платины и других благородных металлов осуществлялся восстановленными флюидами вдоль зон глубинных разломов. Предполагается, что наиболее вероятными формами переноса являлись кластерные соединения, в которых в качестве лигандов выступали СО-группы и элементоорганические соединения. При окислении восстановленных флюидов осаждение золота и платины происходило вместе с графитом и аморфным углеродом. Окисление углерода до CO_2 и водорода до H_2O сопровождалось развитием процессов гидратации и карбонатизации с образованием синтетонических углеродистых метасоматитов, сформировавшихся при одновременном воздействии стресса и восстановленных флюидов и содержащих точечные микровключения золота (не более 0,05 мм в поперечнике).

Эволюция кислотно-основных свойств интрателлурических флюидов, которую они претерпевают на постметаморфическом этапе, аналогична эволюции состава коровых постмагматических флюидов, испытываемой ими при охлаждении, когда проходят путь от ранней щелочной стадии к стадии кислотного выщелачивания и далее к поздней щелочной и нейтральной стадиям (по Д. С. Коржинскому [11]). Это послужило основанием для утверждения, что «рудотложение, связанное с интрателлурическими растворами, происходит так же, как и из постмагматических растворов, в регрессивную стадию, т. е. при падающей температуре...» [18].

Оценивая роль интрателлурических флюидов в формировании золотооруденения ФМКЗ, необходимо отметить, что эволюция их кислотно-щелочных свойств на пути от мантии к земной коре и изменение состава флюидов в сторону повышения их кислотности не только не противоречит характеру процессов и составу продуктов гидротермально-метасоматического рудогенеза, проявленного на золоторудных объектах рассматриваемой зоны, но и хорошо согласуется с ними. Установлено, что образование линзо-пластообразных залежей золото-



носных метасоматитов происходило в восстановительной обстановке при участии щелочных флюидов и сопровождалось альбитизацией, серицитизацией, анкеритизацией и графитизацией вмещающих пород. Подобные метасоматические преобразования отвечают ранней щелочной стадии в схеме эволюции кислотно-основных свойств постмагматических флюидов [11]. Следует отметить, что благоприятным фактором для формирования золотоносных метасоматитов является наличие химически контрастной среды, представленной, с одной стороны, метаморфизованными габбро, габбро-порфиритами, базальтами и метаморфическими сланцами по ним, а с другой – карбонатными породами (мраморизованными известняками, кальцитовыми и доломитовыми мраморами).

По мере охлаждения щелочных интрателлурических флюидов и повышения их кислотности, особенно вызванного прохождением волны кислотности в связи с действием кислотно-основного фильтрационного эффекта [11], осуществлялся переход от ранней щелочной стадии процесса рудогенеза к стадии кислотного выщелачивания. В это время формировались гидротермалиты в виде секущих кварцевых жил и штокверков.

Понижение кислотности флюидов в связи с уходом волны кислотности знаменовало переход процесса рудогенеза к поздней щелочной стадии, когда происходило осаждение рудных и других минералов повышенной основности в гидротермальных жилах.

Завершая обсуждение вопроса о связи золотооруденения, магматизма и регионального метаморфизма, считаем необходимым обратить внимание на то обстоятельство, что магматический и метаморфический этапы формирования рудовмещающей толщи, с одной стороны, и постметаморфический этап – с другой резко различаются по рудогенерирующему потенциалу. На магматическом этапе формируется золотоносный протолит. Он преобразуется на метаморфическом этапе, обуславливая повышенную фоновую золотоносность метаморфитов и определяя их геохимическую специализацию, унаследованную от золотоносного протолита. Промышленное золотооруденение формировалось на постметаморфическом этапе, когда осуществлялся привнос золота и сопутствующих элементов интрателлурическими флюидами. Процессы перераспределения золота вмещающих пород при этом играли подчиненную роль.

Естественно, затрагивая вопрос о рудно-геохимической специализации на золото мантийных магм и интрателлурических флюидов, нельзя оставить без обсуждения причины этого. В качестве главной из них рассматривается вертикальная рудно-геохимическая зональность тектоносферы. Модель такой зональности для платформ, эпиплатформенных геосинклинально-складчатых областей и зон перехода континент–океан разработана А. Д. Щегловым и И. Н. Говоровым [29] (рис. 3). С позиций существова-

ния вертикальной рудно-геохимической зональности тектоносферы хорошо, например, объясняются резкие различия в золотоносности между вулканитами и глубинными ксенолитами золотоносных и незолотоносных провинций. Так, раннемезозойские щелочные базальтоиды и глубинные ксенолиты пироксенитов золотоносных зон Южного Тянь-Шаня отличаются более высоким содержанием золота (23–413 мг/т в сульфидной фракции базальтоидов) от аналогичных по составу и возрасту образований незолотоносной провинции Юго-Западного Тянь-Шаня [17]. Заметные различия в содержании золота выявлены между сла-

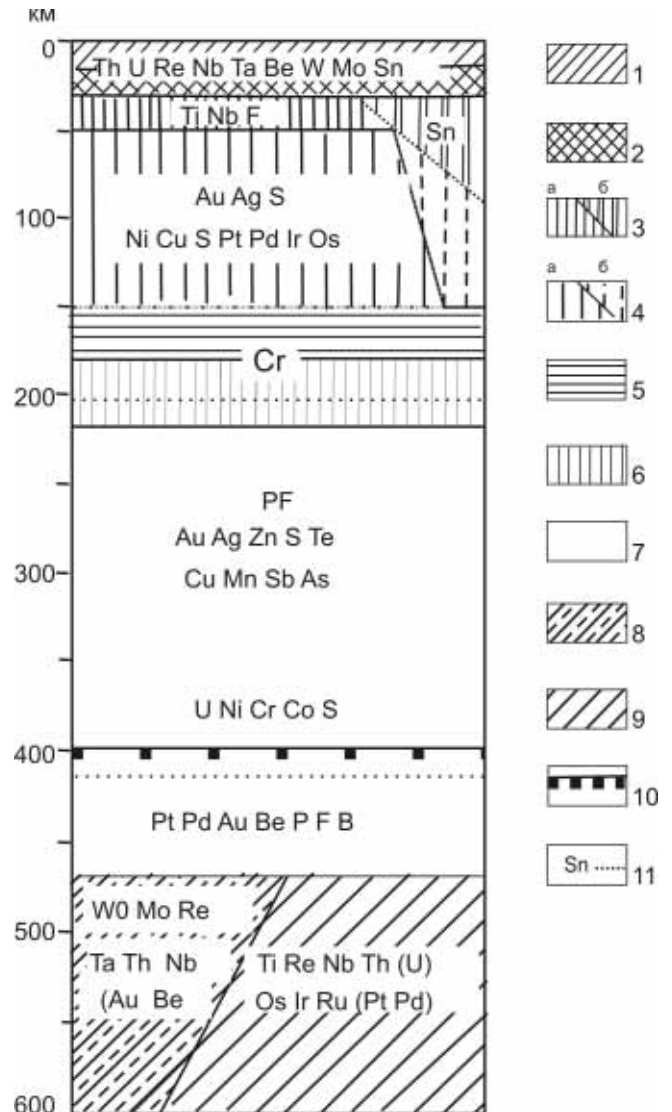


Рис. 3. Принципиальная модель рудно-геохимической вертикальной зональности тектоносферы складчатых областей и платформ [29]

1 – гранитогнейсовый слой; 2 – базитогранулитовый слой; 3 – гипербазиты с ильменитом и флогопитом (а), пироксениты (б); 4 – лерцолиты, магнезиальные пироксениты и эклогиты (а), лерцолиты (б); 5 – гарцбургиты и дуниты; 6 – верлиты; 7 – магнезиально-железистые калийсодержащие эклогиты и пироксениты; 8 – гроспидиты и козситовые эклогиты; 9 – магнезиальные эклогиты и пироксениты; 10 – граница фазового перехода эклогитов и пироксенитов в гранатит; 11 – рудно-геохимическая специализация тектоносферы



бо метаморфизованными коматиитами и толеитами разных территорий архейских зеленокаменных поясов Южной Африки [30], с которыми связано большое количество (более 4000) золоторудных месторождений. По мнению авторов приведенных публикаций, причина выявленных различий заключается в гетерогенности мантийного субстрата в отношении распределения концентраций золота.

Судя по результатам изучения глубинных ксенолитов, золото и сульфурофильные металлы (Ni, Cu, Pt, Pd, Jr, Os, Ag, Co, Zn, Sb, As) могли концентрироваться в мантийном субстрате как в самородной форме, так и в составе сульфидных нодулей [29]. Предполагается, что концентрированию золота в магме способствовала высокая степень плавления мантийного субстрата при образовании коматиитовых и пикробазальтовых магм и последующая их дифференциация. Не исключено, что блоки глубинного золотоносного субстрата типа коэситовых эклогитов могли выноситься в процессе мантийного диапиризма непосредственно к основанию земной коры и продуцировать золотоносные магмы или флюиды.

Поскольку процесс золотоороуднения в пределах ФМКЗ сопровождается интенсивной графитизацией пород и при этом углерод графита характеризуется мантийной изотопией [9], можно предположить, что источником мантийных рудоносных флюидов служили породы графит-пироповой фации, представленные лерцолитами, магнезиальными пироксенитами и эклогитами слоя 4 (см. рис. 3). В этом слое тектоносферы, залегающем на глубине около 50–150 км, находятся эмбрионы месторождений всех фемафильных и сульфурофильных металлов – Au, Ag, S, Ni, Cu, Pt, Pd, Ir, Os [29]. Присутствие в рудах золоторудного месторождения Федоровское-I и проявления Кедровское, размещающихся среди метаморфитов калтасского комплекса, в качестве элементов-примесей Ag, Ni, Cu, Pd, S, а в россыпях – Pt [10, 28], т. е. большинства из перечисленных выше элементов-примесей, свидетельствует о геохимическом сходстве их с образованиями слоя 4 в модели рудно-геохимической зональности тектоносферы (см. рис. 3). Такое геохимическое сходство, по-видимому, может быть использовано и для оценки глубины генерации золотоносных интрателлурических флюидов, обеспечивающих формирование золоторудных объектов ФМКЗ.

Выводы

Ряд критериев позволяет предполагать активную роль мантии на магматическом, метаморфическом и постметаморфическом (гидротермально-метасоматическом) этапах формирования Федоровско-Магызы-Калтасской рудоконтролирующей зоны и ее золоторудных объектов. К ним относятся:

- приуроченность рудоконтролирующей зоны к глубинному разлому;
- широкое участие в составе рудовмещающей толщи ФМКЗ вулканических пород, являющихся продуктами мантийного магматизма;

- геохимическая специализация на золото вулканитов – продуктов мантийного магматизма, свидетельствующая о возможной повышенной золотоносности мантии;

- унаследование от вулканогенного протолита рудовмещающим метаморфическим комплексом геохимической специализации на золото, что позволяет предполагать гетерогенность источников рудного вещества, но с доминирующей ролью мантийного источника;

- восстановительный режим флюидного рудогенеза.

Широкое развитие графитизации, сопутствующей рудогенезу, мантийная изотопия углерода в графите, сходство рудно-геохимической специализации золоторудных месторождений и проявлений ФМКЗ и графит-пироповой фации тектоносферы – все это позволяет предполагать, что источник золотоносных мантийных флюидов располагался в мантии в интервале глубин приблизительно 50–150 км.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Алабин, Л. В.** Геологическое строение и перспективы Федоровско-Магызинской золоторудной зоны (Кузнецкий Алатау) [Текст] / Л. В. Алабин // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Вып. 3. Т. II. – Томск, 2002.
2. **Алабин, Л. В.** Металлогения золота Кузнецкого Алатау [Текст] / Л. В. Алабин, Ю. А. Калинин. – Новосибирск : Изд-во СО РАН и НИЦ ОИГГМ, 1999. – 224 с.
3. **Атлас** палеотектонических и геолого-палеоландшафтных карт нефтегазоносных провинций Сибири [Текст] / Гл. ред. В. С. Сурков. – Новосибирск ; Женева, 1995. – 222 с.
4. **Белоножко, Е. А.** Кедровское рудопроявление Федоровско-Кедровского рудного поля в Ортон-Балыксинском рудном районе (Республика Хакасия) [Текст] / Е. А. Белоножко // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири : матер. 2-й науч.-практ. конф. Т. 1. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2015. – С. 120–122.
5. **Высокоуглеродистые** тектониты – новый тип концентрирования золота и платины [Текст] / Ф. А. Летников, В. Б. Савельева, Ю. В. Аникина, М. М. Смагунова // Докл. РАН. – 1996. – Т. 347, № 6. – С. 795–798.
6. **Золотоносные** синтетектонические метасоматиты – руды большеобъемных месторождений золота нетрадиционного типа [Текст] / А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, В. П. Лепилин, Е. А. Белоножко // Геология и минерагения Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2010. – С. 45–56.
7. **Золоторудные** гиганты России и мира [Текст] / М. М. Константинов, Е. М. Некрасов, А. А. Сидоров, С. Ф. Стружков. – М. : Научный мир, 2000. – 272 с.
8. **Иванова, В. В.** Геолого-геохимические критерии прогнозирования и поисков особо крупных



эндогенных рудных месторождений (на примере месторождений золота) [Текст] / В. В. Иванова, В. М. Питулько // Региональная геология и металлогения. – 2000. – № 12. – С. 116–133

9. **Изотопные** исследования углерода и кислорода золоторудных проявлений Федоровско-Маггизы-Калтасской зоны (Кузнецкий Алатау, Горная Шория) [Текст] / А. Б. Шепель, С. И. Голышев, Н. Л. Падалко [и др.] // XVIII симп. по геохимии изотопов имени акад. А. П. Виноградова : тез. докл. – М., 2007. – С. 289–290.

10. **Коньшев, В. О.** Месторождение Федоровское-1 и особенности методики разведки объектов с крупными выделениями самородного золота в рудах (Кузнецкий Алатау) [Текст] / В. О. Коньшев, Е. В. Севастьянов, Г. Н. Власов // Геология и минеральные ресурсы Центральной Сибири. – Красноярск, 2003. – С. 146–156.

11. **Коржинский, Д. С.** Кислотно-основное взаимодействие в расплавах [Текст] / Д. С. Коржинский // Исследование природного и технического минералообразования. – М. : Наука, 1966. – С. 10.

12. **Коржинский, Д. С.** Теоретические основы анализа парагенезиса минералов [Текст] / Д. С. Коржинский. – М. : Наука, 1973. – 288 с.

13. **Коржинский, Д. С.** Трансмагматические потоки растворов подкорового происхождения и их роль в магматизме и метаморфизме [Текст] / Д. С. Коржинский // Кора и верхняя мантия Земли. – М. : Наука, 1968. – С. 69–73.

14. **Летников, Ф. А.** Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза [Текст] / Ф. А. Летников // Геология рудных месторождений. – 2001. – Т. 53, № 4. – С. 291–307.

15. **Маракушев, А. А.** Петрогенезис и рудообразование [Текст] / А. А. Маракушев. – М. : Наука, 1979. – 260 с.

16. **Метаморфизм** и метасоматоз в зонах глубоких разломов континентальной литосферы [Текст] / Ф. А. Летников, В. Б. Савельев, Д. Е. Гореванов, В. А. Халилов // Геотектоника. – 1996. – № 5. – С. 15–26.

17. **Мушкин, И. В.** Щелочно-базальтоидный магматизм Южного и Юго-Западного Тянь-Шаня в связи с проблемами регионально-геохимической специализации на золото [Текст] / И. В. Мушкин, Р. И. Ярославский // Минералогия и геохимия эндогенных месторождений Средней Азии. Вып. 1. – Ташкент : ФАН, 1978. – С. 91–99.

18. **Овчинников, Л. Н.** Интрателлурические растворы, магматизм и рудообразование [Текст] / Л. Н. Овчинников // Проблемы магматической геологии. – Новосибирск : Наука, 1973. – С. 319–329.

19. **Рябчиков, И. Д.** Роль мантийных флюидов в транспортировке рудных компонентов [Текст] / И. Д. Рябчиков, Г. П. Орлова // Рудообразующие процессы и системы. – М. : Наука, 1989. – С. 49–67.

20. **Русинов, В. Л.** Флюидные потоки в рудообразующих системах: главные источники и рудоге-

нерирующая роль [Текст] / В. Л. Русинов // Флюидные потоки в земной коре и мантии : матер. Всерос. симп., 26–28 марта 2002 г. – М., 2002. – С. 77–83.

21. **Саонов, А. М.** Геохимия золота в метаморфических толщах [Текст] / А. М. Саонов. – Томск : Изд-во ТПУ, 1998. – 166 с.

22. **Саонов, В. Н.** Основные золотопродуктивные и сопутствующие метасоматические формации Урала [Текст] / В. Н. Саонов, В. А. Коротеев. – Екатеринбург, 2009. – 161 с.

23. **Схемы** межрегиональной корреляции магматических и метаморфических комплексов Алтае-Саянской складчатой области и Енисейского кряжа [Текст] / Отв. ред. В. Л. Хомичев. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2002. – 178 с.

24. **Флюидный** режим Земли и проблема крупномасштабного рудообразования (на примере халькофильных металлов) [Текст] / Отв. ред. Г. В. Поляков, П. Ф. Иванкин. – Новосибирск : Наука, 1991. – 160 с.

25. **Шепель, А. Б.** Перспективы золотоносности и поисков большеобъемных месторождений золота нетрадиционного типа в докембрийских зеленосланцевых комплексах западной части Алтае-Саянской складчатой области [Текст] / А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко // Золото Сибири и Дальнего Востока: геология, геохимия, технология, экономика, экология : тез. Третьего всерос. симп. с междунар. участием. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2004 – С. 245–247.

26. **Перспективы** поисков большеобъемных золоторудных месторождений нетрадиционного типа в западной части Алтае-Саянской складчатой области [Текст] / А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, В. П. Лепилин, Е. А. Белоножко // Геология и минерагения Сибири. – Новосибирск : СНИИГГиМС, 2010. – С. 33–45.

27. **Щербаков, Ю. Г.** Геохимия золоторудных месторождений в Кузнецком Алатау и Горном Алтае [Текст] / Ю. Г. Щербаков. – Новосибирск : Наука, 1974. – 278 с.

28. **Щербаков, Ю. Г.** Федоровское месторождение золота и перспективы золотоносности Южно-Сибирской провинции (Горная Шория) [Текст] / Ю. Г. Щербаков, Н. В. Рослякова, В. В. Колпаков // Геология и геофизика. – 2003. – Т. 44. – С. 979–994.

29. **Щеглов, А. Д.** Нелинейная металлогения и глубины Земли [Текст] / А. Д. Щеглов, И. Н. Говоров. – М. : Наука, 1985. – 325 с.

30. **Saager, R.** Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belts of Southern Africa and from Paleozoic ultramafic complexes of the European Alps: Metallogenic and geochemical implications [Text] / R. Saager, M. Veyer, R. Muff // Econ. Geol. – 1982. – Vol. 77, N 1. – P. 1–24.

REFERENCES

1. Alabin L.V. [Geology and prospects of the Fedorovka-Maggyz gold ore zone (Kuznetsk Alatau)].



Petrologiya magmaticsikh i metamorficheskikh kompleksov – Petrology of magmatic and metamorphic complexes, Tomsk, 2002, issue 3, vol. II. (In Russ.).

2. Alabin L.V., Kalinin Yu.A. *Metallogeniya zolota Kuznetskogo Alatau* [Gold metallogeny of Kuznetsk Alatau]. Novosibirsk, SO RAN and NITs OIGGM Publ., 1999. 224 p. (In Russ.).

3. Surkov V.S., ed. *Atlas paleotektonicheskikh i geologo-paleolanshaftnykh kart neftegazonosnykh provintsiy Sibiri* [Atlas of paleotectonic and geological paleolandscape maps of petroleum provinces of Siberia]. Novosibirsk, Geneva, 1995. 222 p. (In Russ.).

4. Belonozhko E.A. [Kedrovka ore occurrence of the Fedorovka-Kedrovka ore field in the Orton-Balyksa ore area (Republic of Khakassia)]. *Mater. 2-y nauch.-prakt. konf. "Geologiya, geofizika i mineral'noe syr'e Sibiri"* [Proc. 2nd scientific-practical conference "Geology, geophysics and mineral resources of Siberia"]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2015, vol. 1, pp. 120–122. (In Russ.).

5. Letnikov F.A., Savelyeva V.B., Anikina Yu.V., Sma-gunova M.M. [High-carbon tectonites – a new type of gold and platinum concentration]. *DAN – Proceedings of the Russian Academy of Sciences (RAS)*, 1996, vol. 347, no. 6, pp. 795–798. (In Russ.).

6. Shepel' A.B., Gavrilenko M.E., Lepilin V.P., Belonozhko E.A. [Gold-bearing syntectonic metasomatites – ores of bulk gold deposits of unconventional type]. *Geologiya i minerageniya Sibiri* [Geology and minerogeny of Siberia], Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2010, pp. 45–56. (In Russ.).

7. Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F. *Zolotorudnye giganty Rossii i mira* [Gold ore giants in Russia and the World]. Moscow, Nauchny Mir Publ., 2000. 272 p. (In Russ.).

8. Ivanova V.V., Pitulko V.M. [Geological and geochemical criteria of forecasting and searching for especially large-scale endogenous ore deposits (on the example of gold deposits)]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya – Regional geology and metallogeny*, 2000, no. 12, pp. 116–133. (In Russ.).

9. Shepel' A.B., Golyshchikov S.I., Padalko N.L., et al. [Isotopic studies of hydrocarbon and oxygen of gold occurrences of the Fedorovka-Magyzy-Kaltas zone (Kuznetsk Alatau, Gornaya Shoria)] *Tez. dokl. XVIII simp. po geokhimi i izotopov im. akad. A. P. Vinogradova* [Theses Academician Vinogradov XVIII symposium in isotope geochemistry]. Moscow, 2007, pp. 289–290. (In Russ.).

10. Konyshchikov V.O., Sevastyanov E.V., Vlasov G.N. [Fedorovskoye-1 deposit and features of prospecting for objects with large segregation of native gold in ores (Kuznetsk Alatau)]. *Geologiya i mineral'nye resursy Tsentral'noy Sibiri – Geology and mineral resources of Central Siberia*. Krasnoyarsk, 2003, pp. 146–156. (In Russ.).

11. Korzhinskiy D.S. [Acid-base interaction in fusions]. *Issledovanie prirodnogo i tekhnicheskogo mineraloobrazovaniya* [Research of natural and technical

minerogenesis]. Moscow, Nauka Publ., 1966, p. 10. (In Russ.).

12. Korzhinskiy D.S. *Teoreticheskie osnovy analiza paragenezisa mineralov* [Theoretical bases of the analysis of mineral paragenesis]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 288 p. (In Russ.).

13. Korzhinskiy D.S. [Transmagmatic stream flows of solutions of subcrustal origin and their role in magmatism and metamorphism]. *Kora i verkhnyaya mantiya Zemli* [The Earth's crust and mantle]. Moscow, Nauka Publ., 1968, pp. 69–73. (In Russ.).

14. Letnikov F.A. [Ultradeep fluid systems of the Earth and problems of oregonesis]. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy – Geology of ore deposits*, 2001, vol. 53, no. 4, pp. 291–307. (In Russ.).

15. Marakushev A.A. *Petrogenезis i rudoobrazovaniye* [Petrogenesis and mineralization]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 260 p. (In Russ.).

16. Letnikov F.A., Savelyev V.B., Gorevanov D.E., Khalilov V.A. [Metamorphism and metasomatism in zones of deep fractures of the continental lithosphere]. *Geotektonika – Geotectonics*, 1996, no. 5, pp. 15–26. (In Russ.).

17. Mushkin I.V., Yaroslavskiy R.I. [Alkali-basaltoid magmatism of Southern and South-Western Tien Shan in the context of regional-geochemical specialization for gold]. *Mineralogiya i geokhimiya endogennykh mestorozhdeniy Sredney Azii – Mineralogy and geochemistry of endogenous deposits of Central Asia*. Tashkent, FAN Publ., 1978, issue 1, pp. 91–99. (In Russ.).

18. Ovchinnikov L.N. [Intratelluric solutions, magmatism and ore formation]. *Problemy magmaticheskoy geologii* [Problems of magmatic geology]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1973, pp. 319–329. (In Russ.).

19. Ryabchikov I.D., Orlova G.P. [Role of mantle fluids in transportation of ore components]. *Rudoobrazuyushchie protsessy i sistemy* [Ore-forming processes and systems]. Moscow, Nauka Publ., 1989, pp. 49–67. (In Russ.).

20. Rusinov V.L. [Fluid flows in ore-forming systems: the main sources and ore parent role]. *Flyuidnye potoki v zemnoy kore i mantii: Materialy Vserossiyskogo simp. 26-28 marta 2002 g.* [Proc. All-Russia symp. March 26–28 "Fluid flows in the Earth's crust and mantle"]. Moscow, 2002, pp. 77–83. (In Russ.).

21. Sazonov A.M. *Geokhimiya zolota v metamorficheskikh tolshchakh* [Geochemistry of gold in metamorphic strata]. Tomsk, TPU Publ., 1998. 166 p. (In Russ.).

22. Sazonov V.N., Koroteev V.A. *Osnovnye zoloto-produktivnye i soputstvuyushchie metasomaticheskie formatsii Urala* [Basic gold productive and accessory metasomatic formations of the Urals]. Ekaterinburg, 2009. 161 p. (In Russ.).

23. Khomichev V.L., ed. *Skhemy mezhregional'noy korrelyatsii magmaticheskikh i metamorficheskikh kompleksov Altae-Sayanskoy skladchatoy oblasti i Eniseyskogo kryazha* [Charts of interregional correlation of



magmatic and metamorphic complexes of the Altai-Sayan folded region and Yenisei Range]. Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2002. 178 p. (In Russ.).

24. Polyakov G.V., Ivankin P.F., eds. *Flyuidnyy rezhim Zemli i problema krupnomasshtabnogo rudobrazovaniya (na primere khal'kofil'nykh metallov)* [Fluid conditions of the Earth and the problem of the large-scale ore formation (by the example of chalcophilic metals)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1991. 160 p. (In Russ.).

25. Shepel A.B., Gavrilenko M.E. [Prospects of gold mineralization and prospecting for bulk gold deposits of unconventional type in Pre-Cambrian greenschist complexes of the western part of the Altai-Sayan folded region]. *Zoloto Sibiri i Dal'nego Vostoka: geologiya, geokhimiya, tekhnologiya, ekonomika, ekologiya: Tez. Tret'ego Vserossiyskogo simpoziuma s mezhdunarodnym uchastiem* [Gold of Siberia and Far East: geology, geochemistry, technology, economy, ecology: Theses 3rd All-Russia symposium with international participation]. Ulan-Ude, BNTs SO RAN Publ., 2004, pp. 245–247. (In Russ.).

26. Shepel A.B., Gavrilenko M.E., Lepilin V.P., Belonozhko E.A. [Prospects of searching for bulk gold

deposits of unconventional type in the western part of the western Altai-Sayan folded region]. *Geologiya i minerageniya Sibiri – Geology and minerogeny of Siberia*, Novosibirsk, SNIIGiMS Publ., 2010, pp. 33–45. (In Russ.).

27. Shcherbakov Yu.G. *Geokhimiya zolotorudnykh mestorozhdeniy v Kuznetskom Alatau i Gornom Altae* [Geochemistry of gold deposits in Kuznetsk Alatau and Gornyi Altai]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974. 278 p. (In Russ.).

28. Shcherbakov Yu.G., Roslyakova N.V., Kolpakov V.V. [Fedorovskoye gold deposit and prospects of gold mineralization of the Southern-Siberian Province (Gornaya Shoriya)]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2003, vol. 44, pp. 979–994. (In Russ.).

29. Shcheglov A.D., Govorov I.N. *Nelineynaya metallogeniya i glubiny Zemli* [Nonlinear metallogeny and the Earth's depths]. Moscow, Nauka Publ., 1985. 325 p. (In Russ.).

30. Saager R., Veyer M., Muff R. Gold distribution in supracrustal rocks from Archean greenstone belts of Southern Africa and from Paleozoic ultramafic complexes of the European Alps: Metallogenic and geochemical implications. *Econ. Geol.*, 1982. vol. 77, no. 1, pp. 1–24.

© А. Б. Шепель, М. Е. Гавриленко, 2015

ШЕПЕЛЬ Альберт Борисович, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, вед. науч. сотр., к. г.-м. н. *E-mail: shepel@sniiggims.ru*

ГАВРИЛЕНКО Маргарита Евгеньевна, Сибирский научно-исследовательский институт геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), Новосибирск, ст. науч. сотр. *E-mail: shepel@sniiggims.ru*

SHEPEL Albert, Phd., Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail shepel@sniiggims.ru*

GAVRILENKO Margarita, Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources (SNIIGiMS), Novosibirsk, Russia. *E-mail shepel@sniiggims.ru*