



ПРОГНОЗНО-ПОИСКОВЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭНДОГЕННЫХ ОРЕОЛОВ ЭЛЕМЕНТОВ СЕМЕЙСТВА ЖЕЛЕЗА (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)

Рассмотрены особенности поведения и зонального распределения элементов семейства железа (Ni, Co, Mn, V, Cr, Ti) на золоторудных месторождениях различных формационных типов. Намечены критерии прогноза скрытого оруденения.

Ключевые слова: золоторудные месторождения, элементы семейства железа.

Элементы семейства железа (Ni, Co, Mn, V, Cr, Ti) проявляют двойственный характер поведения в рудах и околорудном пространстве в пределах золоторудных месторождений. Кроме относительного обеднения этими элементами рудоносных зон, прослеживалось их накопление в ближайших контактах. Перечисленные элементы образуют на рудных уровнях золоторудных и полиметаллических месторождений так называемые «зоны выноса», проявляющиеся в обеднении ими рудоносных зон относительно приазальбандовых частей вмещающих пород [1–4]. Другая особенность элементов рассматриваемой группы – смещение по падению относительно рудного тела и обогащение нижнерудных и подрудных частей рудных залежей. Наконец, следует отметить заметные отличия набора рассматриваемых элементов на разнотипных месторождениях и определённые связи их распределения в аномальных полях с характером околорудных изменений рудовмещающих пород.

Ниже рассмотрены особенности поведения элементов семейства железа на золоторудных объектах ведущих формационных типов.

К *золото-сульфидно-кварцевой формации* относятся объекты Васильковского рудного поля в Северном Казахстане (собственно Васильковское месторождение, участки Промежуточный, Дальний, Шункурколь и др.). Построенная на их основе модель (рис. 1) характеризует распределение геохимических ореолов и метасоматитов в околорудном пространстве. Эталонное месторождение данного типа представляет собой золотоносный кварц-арсенопиритовый штокверк, приуроченный к тектонически осложнённому контакту интрузий гранодиоритов и габбродиоритов раннепалеозойского возраста.

На среднерудном уровне (соответствующем современному эрозионному срезу) в распределении Co и V устанавливается зона (шириной ~400 м) их пониженных содержаний, сменяющаяся на периферии ореолами повышенных. В поперечном сечении (см. рис. 1) возникает «двугорбая» кривая, сменяющаяся в над-

Миляев Сергей Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
sermil52@yandex.ru

Чекваидзе Виктор Борисович

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
chekvaidze@rambler.ru

Конкин Виктор Дмитриевич

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
konkin@tsnigri.ru

Донец Александр Иванович

доктор геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник

ФГУП Центральный
научно-исследовательский
геологоразведочный институт
цветных и благородных металлов,
г. Москва

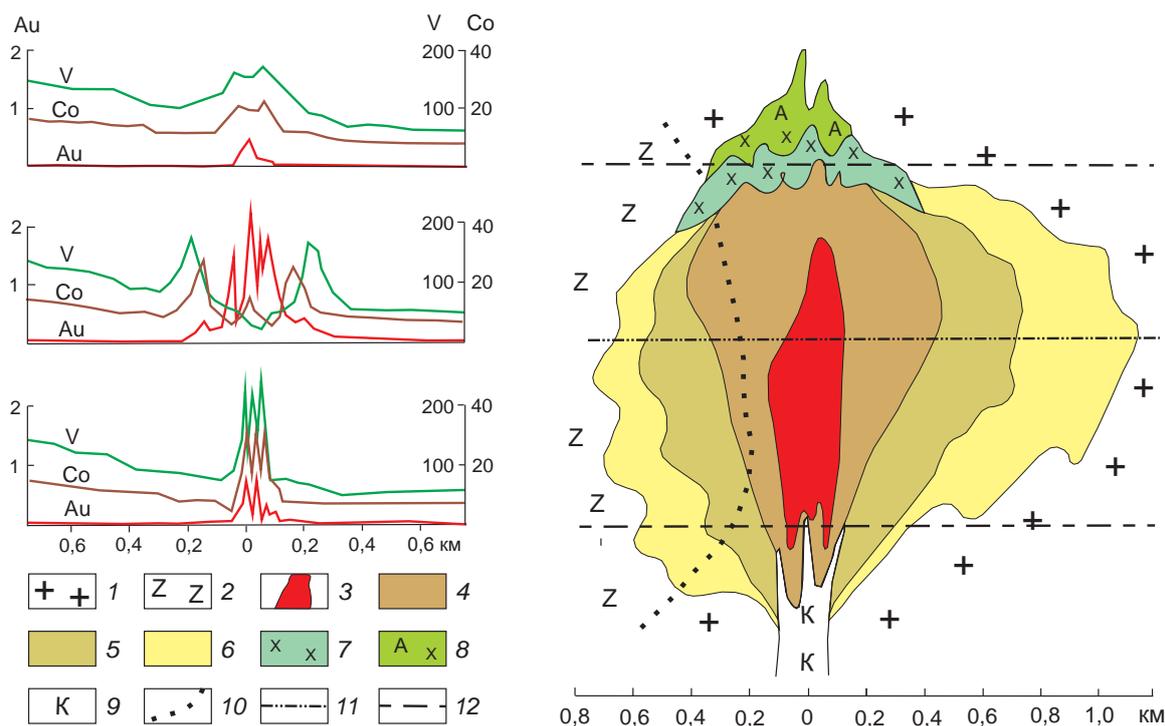


Рис. 1. ГРАФИКИ СОДЕРЖАНИЙ V, Co, Au (г/т) НА РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ ВАСИЛЬКОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – гранодиориты; 2 – габбродиориты; 3 – рудная залежь; зоны березитов: 4 – центральная, 5 – промежуточная, 6 – внешняя; надрудные зоны осаждения: 7 – хлоритовая, 8 – хлорит-альбитовая; 9 – нижнерудно-подрудная зона калишпатизации; 10 – контакт интрузий различного состава; 11 – современный эрозионный срез; 12 – уровни по вертикали

рудном и подрудном уровнях общим подъёмом содержаний названных элементов. При этом в первом случае кривые распределения рассматриваемых элементов пологие и охватывают относительно широкую часть околорудного пространства, во втором – имеют вид нескольких узких сближенных «пиков», в целом повторяющих кривые распределения золота.

Метасоматическая зональность на месторождении проявляется в виде дифференциации до-рудных метасоматитов формации березитов по латерали и вертикали (см. рис. 1). Выделяются три латеральные зоны: внешняя, промежуточная и центральная. Они характеризуют последовательное замещение темноцветных минералов и полевых шпатов исходных пород кварцем и серицитом (с примесью карбоната), вплоть до образования типичных березитов. Химизм этого процесса определяется выносом из пород Na, Mg, Fe на фоне привноса K, CO₂, S. Вынесенные компоненты на верхних выклиниваниях растворопроводящих

структур образуют две зоны осаждения: нижнюю – хлоритовую и верхнюю – хлорит-альбитовую [7].

При сравнении проявлений геохимической и метасоматической зональности (см. рис. 1) видно, что зона ореола минимальных и максимальных значений Co и V на среднерудном уровне близко соответствует центральной зоне ореола березитизации. Последнее может интерпретироваться как вынос этих элементов из указанной зоны с их переотложением на границах зоны максимального кислотного выщелачивания [5]. Надрудные положительные аномалии Co и V, сопоставимые по ширине с центральной зоной березитов, также могут рассматриваться в качестве продуктов их переотложения, выщелоченных на нижележащих уровнях.

Иная картина наблюдается на подрудных горизонтах. Здесь кривые локальных «пиковых» значений Co и V по конфигурации близки кривым распределения содержаний Au и в условиях затухания процесса березитизации на глубине вряд

ли могут быть обусловлены переотложением этих элементов в направлении, обратном инфильтрации гидротерм. Более уместно связать отмеченные положительные аномалии с синрудным процессом и рассматривать их как более поздние образования, сопутствующие отложению рудогенных элементов с тенденцией к накоплению на нижних горизонтах рудоносных структур.

Подтверждением этому служат парные коэффициенты корреляции [6] между содержаниями элементов семейства железа и золотом. Для подрудных горизонтов отмечаются положительные связи между Co, V, Mn и Au. Среднерудный уровень, напротив, характеризуется отрицательной корреляцией Au с Co, V, Mn. Надрудные уровни отличаются положительными незначимыми коэффициентами корреляции золота с Co, V, Mn. Подчеркнём, что для всех уровней Васильковского месторождения между содержаниями Co, V, Mn

фиксируются только положительные корреляционные связи.

Золото-кварцевую формацию представляет Наталкинское месторождение в Центрально-Колымском регионе. В его пределах установлена серия субпараллельных жильных зон и тонкопрожилковых штокверков, контролируемых разломами в туфогенно-терригенной толще позднепермского возраста. Комплекс изменённых пород представлен березитоидами, включающими в основном в разной степени серицитизированные, окварцованные и альбитизированные породы.

Распределение Co и Ni в эндогенных ореолах весьма сходно с рассмотренным выше. Как видно из рис. 2, Co и Ni выносятся из рудных зон с переотложением на периферии в лежащем и висячем боках. Напротив, максимальные содержания Mn отражают положение рудных зон, и, следовательно, на этом уровне эрозионного среза Mn можно

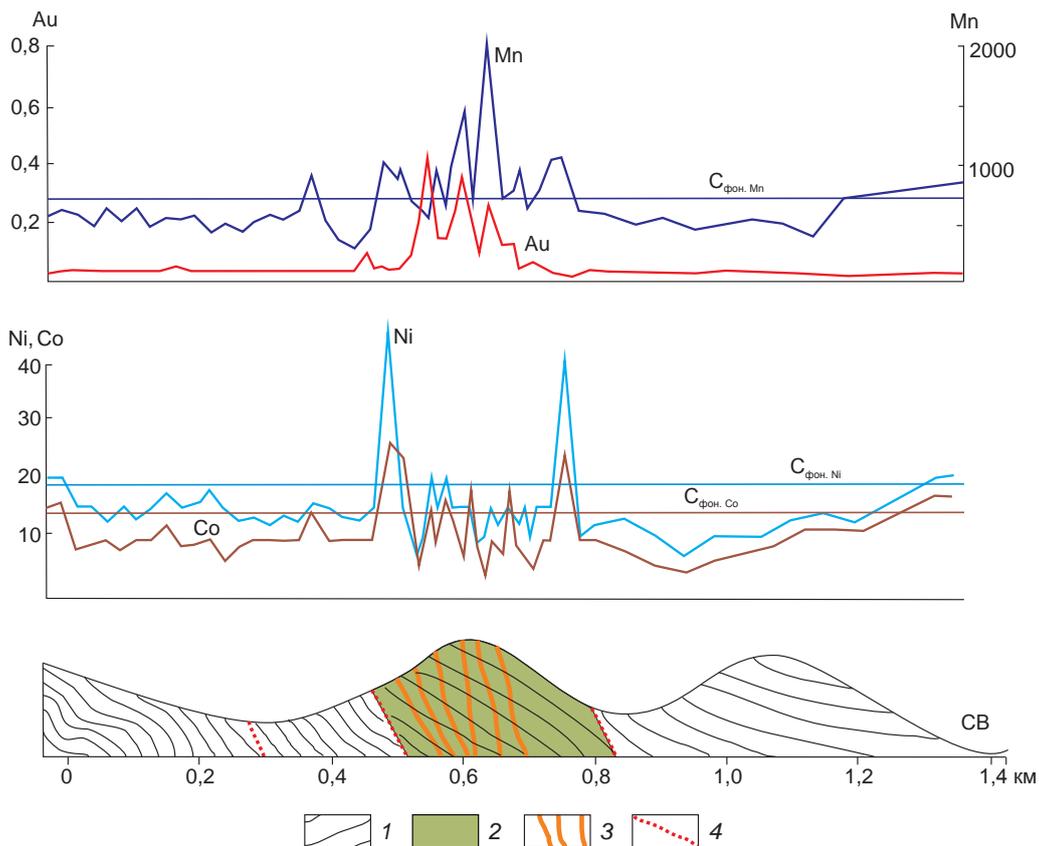


Рис. 2. ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЙ Au, Mn, Ni, Co (г/т) В ПРОФИЛЕ НА СЕВЕРНОМ ФЛАНГЕ НАТАЛКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – углеродисто-туфо-терригенная толща, P_2 ; 2 – зона околорудных метасоматитов (березитоидов); 3 – рудные зоны; 4 – разрывные нарушения

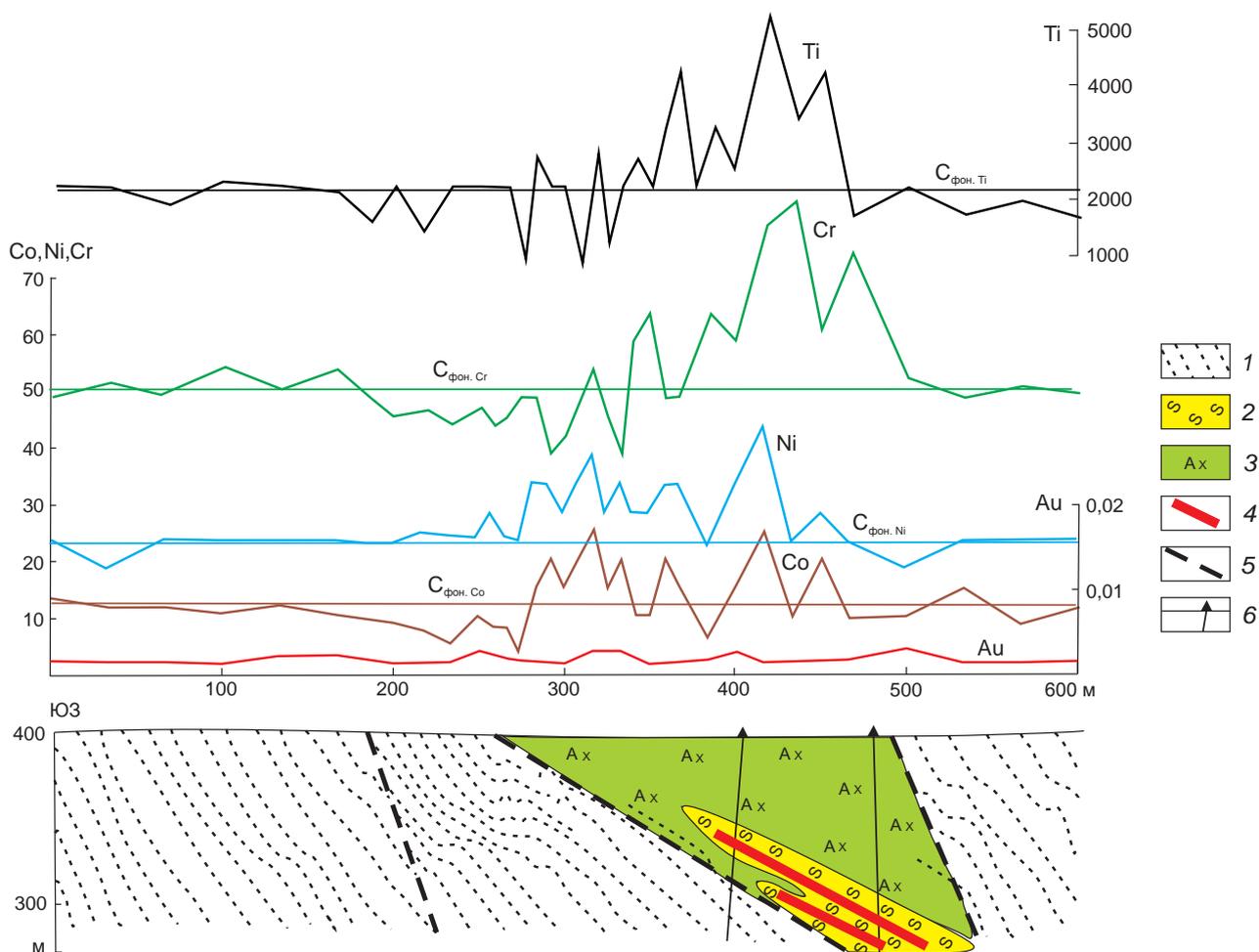


Рис. 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЙ СИДЕРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НАД «СЛЕПЫМИ» РУДНЫМИ ТЕЛАМИ УЧАСТКА ДАЛЬНИЙ (г/т):

1 – углеродисто-песчано-сланцевая толща, С₁; 2 – серицитизация; 3 – пятнисто-прожилковая альбит-хлоритовая минерализация; 4 – рудные тела; 5 – тектонические нарушения; 6 – скважины

рассматривать как элемент, привнесённый в процессе рудогенеза.

Примером объектов *золото-сульфидной формации* является Бакырчикское рудное поле в Восточном Казахстане, а в его пределах – участок Дальний, на котором вскрыты рудовмещающие и надрудные уровни рудолокализирующей разломной структуры (рис. 3). Рудовмещающий уровень представлен прожилково-вкрапленными скоплениями золотоносных сульфидов (арсенопирита и пирита), обрамлёнными ореолом березитоидов (существенно серицитового состава). Висячем боку разлома в надрудном пространстве развиты широкие ореолы тонких прожилков хлорита и альби-

та, представляющих зоны переотложения оснований (Na, Mg, Fe), выщелоченных из пород на уровне березитизации. Этот процесс отражён положительными аномалиями Co, Ni, Cr, Ti (см. рис. 3). Содержания V и Mn на участке фоновые, а рудных элементов (Au, As и др.) близфоновые (см. рис. 3).

К *вулканогенной золотосеребряной формации* относится Карамкенское месторождение (Охотско-Чукотский вулканогенный пояс), в строении которого преобладают вулканиты и субвулканические интрузии среднего и умеренно кислого составов позднемелового возраста. Золотоносные жилы обрамляются дорудными адуляр-слюдисто-кварце-

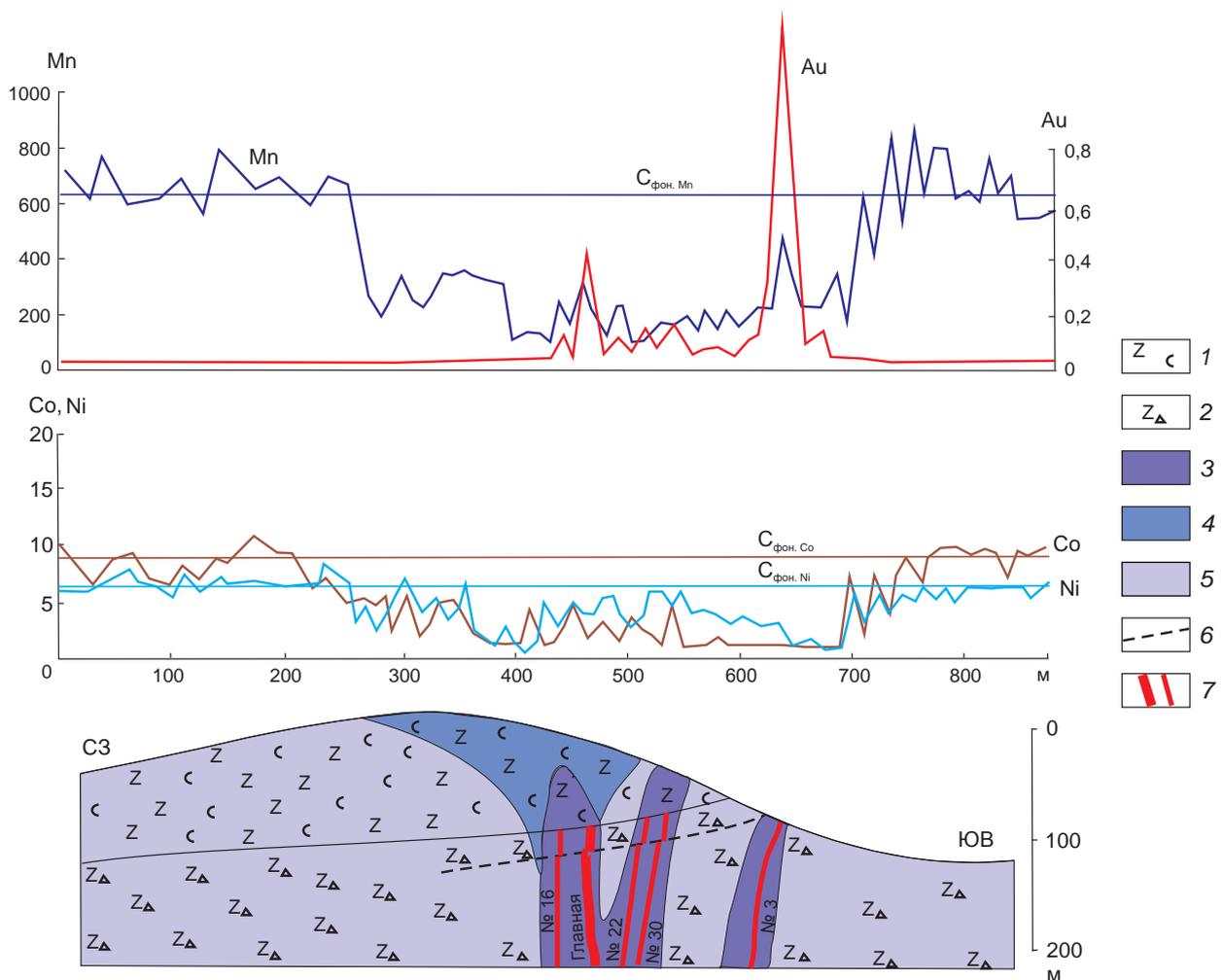


Рис. 4. ГРАФИКИ СОДЕРЖАНИЙ Au, Mn, Ni, Co (г/т) НА ВОСТОЧНОМ УЧАСТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КАРАМКЕН:

1 – туфы андезито-дацитов, K_2 ; 2 – автомагматические брекчии андезито-дацитов, K_2 ; 3 – адуляр-слюдисто-кварцевые метасоматиты; 4 – опалолиты и сольфатарные кварциты с каолинитом; 5 – низкотемпературная пропилитизация (альбит+карбонат+хлорит); 6 – разломы; 7 – рудные тела

выми метасоматитами, переходящими по вертикали в сольфатарные опалолиты (с каолинитом) и кварциты (рис. 4). Все эти метасоматические продукты принадлежат к формации аргиллизитов. Они знаменуют резкое возрастание кислотности растворов при их приближении к дневной поверхности, что обуславливает вынос практически всех металлических компонентов пород за пределы сферы минералообразования.

Соответственно ведут себя Co, Ni, Mn, V, Cr, Ti, выносимые как на верхнерудном уровне (жила З), так и в надрудном пространстве (над жилами Главная, № 16, 22, 30). Подобное поведение наиболее ярко проявлено для Co, Ni, Mn, образующих от-

рицательные аномалии над рудоносными зонами (см. рис. 4).

Тенденцию нарастающего выноса элементов с приближением к поверхности иллюстрирует рис. 5, представляющий разрез Береговского месторождения в Закарпатье, относящегося к этому же формационному типу. Наиболее ярко это проявляется в перераспределении содержаний Co и Mn. Отрицательные аномалии Co и Mn заметно увеличиваются по площади и интенсивности в направлении от глубин к верхним горизонтам на фоне отложения Au.

В заключение следует акцентировать внимание на следующих положениях.

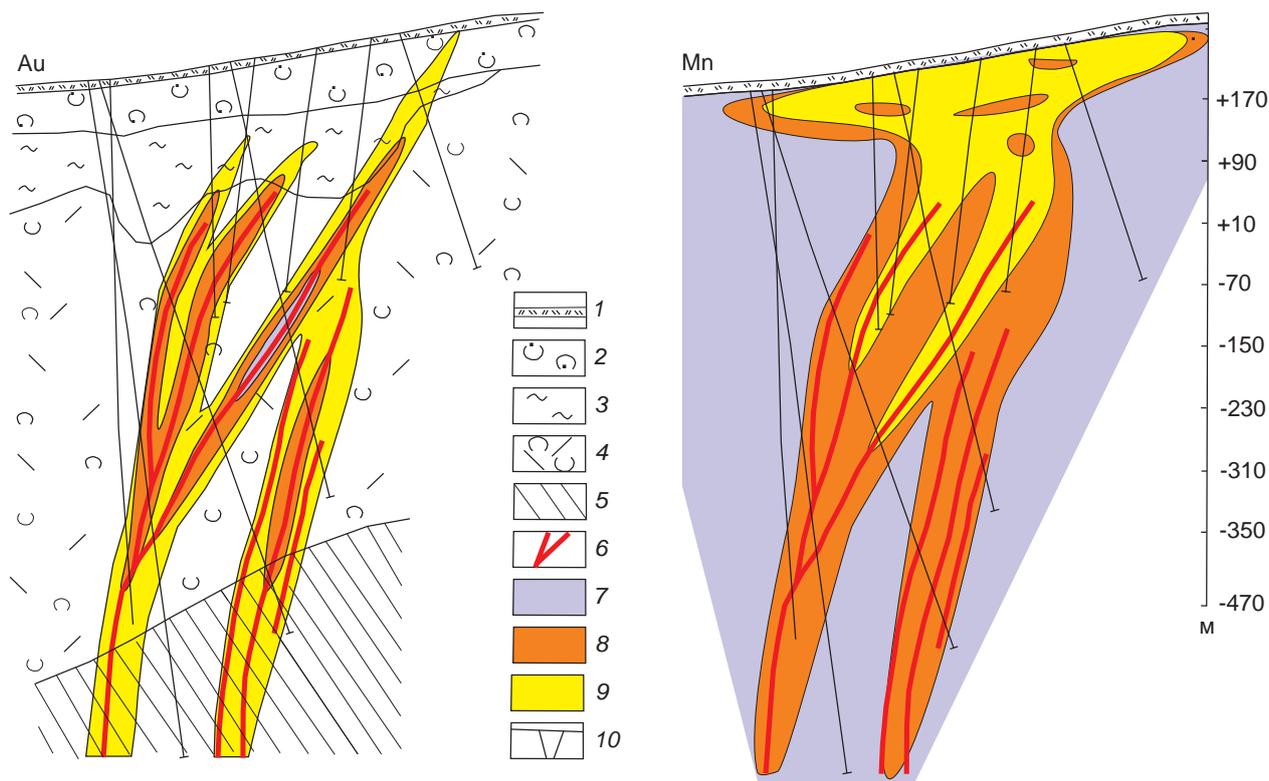


Рис. 5. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Au, Mn В ПРОФИЛЕ XXIV БЕРЕГОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – делювий; 2 – риолиты и их туфы, Ni; 3 – глины с прослоями песчаников, Ni; 4 – туфы кварцевых риолитов, Ni; 5 – известняки, песчаники, J, (?); 6 – рудные жилы; первичные ореолы Au, Mn, г/т: 7 – Au 0,3–1, Mn 500–1000, 8 – Au 0,1–0,3, Mn 200–500, 9 – Au 0,03–0,1, Mn 100–200; 10 – поисково-разведочные скважины

1. Золоторудные месторождения, независимо от их формационной принадлежности, характеризуются перераспределением элементов семейства железа в процессе рудоотложения. На основном рудоносном уровне месторождений доминирует вынос элементов, причём ореол выноса совпадает с центральной зоной дорудных метасоматических изменений, сложенной на объектах большинства рудно-формационных типов березитами и интенсивно березитизированными породами. Переотложение выносимых компонентов осуществляется на границах зоны максимальных изменений по латерали, а также в надрудных пространствах. В последнем случае зоны переотложения элементов семейства железа совпадают с зонами переотложения петрогенных компонентов (Na, Mg, Fe, иногда Ca), вынесенных из пород на уровне березитизации и представленных альбитовыми и хлоритовыми (иногда с карбонатами) метасоматическими новообразованиями [7].

2. Последнее обстоятельство относится к глубинным объектам (золото-сульфидно-кварцевая, золото-кварцевая, золото-сульфидная формации). В близповерхностных субаэральных условиях (золото-серебряная формация) на всём вертикальном интервале развития оруденения и в надрудном пространстве проявляется вынос элементов семейства железа и отсутствие зон их переотложения. Это находит объяснение в прогрессирующем окислении гидротерм и нарастании их кислотности под воздействием кислорода поверхности с последующим рассеянием выносимых элементов в поверхностных водах. Появление на нижнерудных уровнях ряда золото-серебряных объектов положительных аномалий Co, Ni, Mn следует рассматривать как привнос этих элементов в процессе рудообразования.

3. Тесная связь геохимической и метасоматической зональности свидетельствует о главенствующей роли дорудных метасоматических измене-

ний в процессах миграции элементов семейства железа. В то же время, локальные положительные «всплески» содержания этих элементов в центральных частях рудных зон в тесной пространственной связи с золотом могут быть обусловлены их привнесением на стадии рудообразования в составе металлоносных гидротерм. Отчётливая тенденция к накоплению синрудных элементов семейства железа в тыловых зонах рудоносных структур соответствует их положению в универсальном ряду зональности отложения, определяемому всеми известными факторами дифференциации элементов внутри ряда [6].

4. Выявление двух стадий миграции элементов семейства железа – дорудной и синрудной, в различной степени проявленных на разнотипных объектах, объясняет противоречивость в поведении этих элементов в отношении их привноса-выноса, вследствие чего «коэффициент интенсивности оруденения» [4], в числителе которого – привносимые рудогенные элементы, в знаменателе – выносимые элементы группы железа, оказался не эффективным и не нашёл сколько-нибудь заметного применения в практике геохимических поисков.

5. Отрицательные аномалии элементов семейства железа могут служить индикаторами рудо-локализирующих структур, особенно в сочетании с положительными ореолами рудогенных и сопутствующих элементов. В обстановке развития вулканогенных золото-серебряных месторождений отрицательные аномалии рассматриваемых элементов могут свидетельствовать о наличии «слепых» рудных тел, скрытых на глубине.

6. Положительные аномалии элементов семейства железа, с одной стороны, могут быть указателями близко расположенных (до сотни метров) рудоносных зон метасоматитов в латеральных направлениях, с другой – свидетельствовать о возможном залегании руд на глубине. В последнем случае ореолы этих элементов совмещаются с ме-

тасоматическими зонами осаждения петрогенных компонентов, выщелоченных из пород на уровне березитизации, что и позволяет их более уверенно идентифицировать как надрудные образования.

7. Наличие вертикальной зональности в распределении элементов семейства железа можно использовать для определения относительного уровня эрозионного среза рудных тел. Развитие положительных аномалий рассматриваемых элементов над рудными зонами на значительном расстоянии (более сотни метров) может служить дополнительным критерием при поисках рудных объектов, находящихся в «слепом» залегании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абрамсон Г.Я.* Элементы семейства железа как индикаторы золотого оруденения // Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых. М., 1982. С. 12–16.
2. *Абрамсон Г.Я., Григорян С.В., Григоров С.А.* Результаты исследований геохимических ореолов на одном из золоторудных месторождений // Литохимические методы поисков эндогенных месторождений. М., 1980. С. 16–22.
3. *Геохимические системы Лениногорского и Зырянского районов Рудно-Алтайской колчедан-полиметаллической провинции (Казахстан), генетические и поисковые аспекты / И.С.Гольдберг, Г.Я.Абрамсон, В.Л.Лось и др. // Прогнозно-поисковая геохимия – современное состояние и перспективы развития (к 100-летию со дня рожд. проф. А.П.Соловова). М., 2008. С. 106–120.*
4. *Григорян С.В.* Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. – М.: Недра, 1987.
5. *Метасоматизм и метасоматические породы / В.А.Жариков, В.Л.Русинов, А.А.Маракушев и др. – М.: Научный мир, 1998.*
6. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др. – М.: Недра, 1990.*
7. *Чекваидзе В.Б.* Поисковая минералого-геохимическая модель золото-сульфидно-кварцевого оруденения // Советская геология. 1987. № 1. С. 121–126.

FORECASTING-PROSPECTING FEATURES OF Fe-FAMILY ELEMENTS' ENDOGENIC HALOES (EXEMPLIFIED BY Au DEPOSITS)

S.A.Milyaev, V.B.Chekvaizde, V.D.Konkin, A.I.Donets (TsNIGRI)

Behaviour and zonation features of Fe-family elements (Ni, Co, Mn, V, Cr, Ti) at Au deposits of various formation types are considered. Criteria of hidden mineralization forecast are described.

Keywords: Au deposits, Fe-family elements.