



ГЕОХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ; ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКЕ ОРУДЕНЕНИЯ

Основные задачи построения геохимических моделей рудных месторождений – обоснование прогноза оруденения на глубину, определение денудационного среза рудопроявлений, выявляемых при литохимических поисках по вторичным ореолам рассеяния, и таксирование рудных пересечений в метрике генетически однотипного хорошо изученного (эталонного) месторождения. Для прогнозной оценки исследуемых объектов на ранней стадии поисково-разведочных работ привлекается принцип геометрического и геохимического подобия генетически однотипных объектов. На основе построения обобщённых моделей разрезов полиметаллических месторождений в комплексе с геохимическими признаками даётся прогнозная оценка оруденения.

Ключевые слова: прогноз оруденения, коэффициент подобия, геохимическая зональность.

Повышение геологической эффективности геохимических исследований в рудных районах связано с обобщением накопленных эмпирических данных и построением моделей коренного оруденения важнейших формационных типов. Создание формализованных моделей и внедрение теоретических разработок в практику геологоразведочных работ позволяют увеличить надёжность геохимических прогнозов. Геохимические модели служат основой интерпретации аномалий и рудопроявлений, выявляемых литохимическими съёмками различных масштабов, оценки прогнозных ресурсов при геохимических поисках, прогноза оруденения на глубину и реконструкции рудных интервалов, уничтоженных эрозией.

Геохимические модели строятся на основе закономерностей формирования первичных ореолов рудных тел и зональности отложения элементов при рудообразовании. Геохимические модели месторождений разных формационных типов различаются между собой. Месторождения одного формационного типа подчиняются принципу геометрического и геохимического подобия. Этот принцип впервые был сформулирован А. П. Солововым [5].

Однотипные месторождения, отличающиеся по объёмам и запасам полезного ископаемого, характеризуются близкой формой с устойчивыми отношениями между размерами рудных залежей, их линейными и площадными продуктивностями. Этот признак проявляется лишь в известных пределах, а именно при условии, что проводимая аналогия между месторождениями учитывает своеобразие каждого из сопоставляемых объектов.

Миляев Сергей Анатольевич

кандидат геолого-минералогических наук
ведущий научный сотрудник
milyaev@tsnigri.ru

ФГБУ «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов»,
г. Москва

УДК 553.41`43`48:550.4

© С. А. Миляев, 2020

DOI: 10.24411/0869-5997-2020-10002

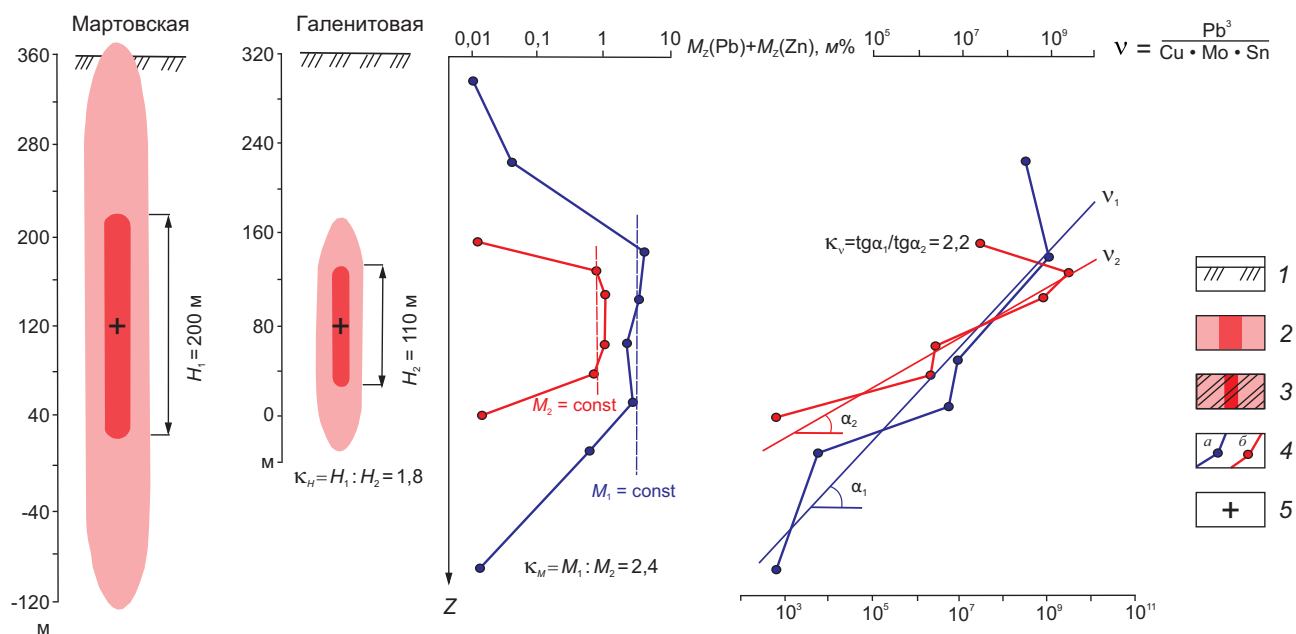


Рис. 1. МОДЕЛИ ДЛЯ ФИГУР ПОДОБИЯ С ОЦЕНКАМИ ДЛЯ МАРТОВСКОЙ И ГАЛЕНИТОВОЙ ЗАЛЕЖЕЙ САДОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ:

1 – дневная поверхность; 2 – рудные залежи и их первичные ореолы; 3 – часть рудной зоны, уничтоженная эрозией; 4 – графики линейных продуктивностей (M , м%) и показателя зональности (v) по падению рудных залежей Мартовской (а) и Галенитовой (б); 5 – отметка центра рудной залежи

Геохимическое подобие определяется однотипным характером эндогенной геохимической зональности, под которой понимают закономерное изменение в пространстве соотношений между надфоновыми содержаниями (или продуктивностями) двух или большего числа химических элементов. Количественными характеристиками оруденения в любой точке служат показатели геохимической зональности (v) – безразмерные величины отношений между содержаниями (или продуктивностями) химических элементов, типморфных для данного типа оруденения, одинаково убывающих в выбранном направлении.

Важнейшим следствием принципа геохимического подобия является то, что для геометрически одноимённых точек рудных залежей разных по масштабу запасов численные значения конкретного геохимического показателя зональности остаются величиной постоянной. При этом графики показателей зональностей, как функция глубин $v = f(z)$, построенные в полулогарифмическом масштабе, будут отличаться углами наклона α . Для объекта большей крупности характерен крутой

наклон графика показателя зональности (слабо-контрастная вертикальная зональность), более мелкого – пологий (контрастная вертикальная зональность). Коэффициент подобия κ определяется как отношение тангенсов соответствующих углов α_1 и α_2 , образованных осреднёнными графиками с осью абсцисс [б]:

$$\kappa = \text{tg}\alpha_1 : \text{tg}\alpha_2.$$

Пример геохимической характеристики двух хорошо разведанных слепых залежей скарново-полиметаллического месторождения Садовое в Дальнегорском районе Приморского края и частные оценки коэффициента подобия, полученные через отношения полной протяжённости залежей ($H_1 : H_2$), средних суммарных линейных продуктивностей ($M_1 : M_2$) свинца и цинка и тангенсы углов наклона графиков показателя геохимической зональности $v = \text{Pb}^3 / (\text{Cu} \cdot \text{Mo} \cdot \text{Sn})$ приведены на рис. 1.

Сопоставление двух залежей Садового месторождения по коэффициенту подобия показало, что независимые его определения через H , M , v характеризуются хорошей сходимостью ($\kappa_{\text{ср.}} = 2,1$) и малой величиной доверительного множителя

при оценке среднего ($\varepsilon = 1,1^{\pm 1}$). Соотношение полных объёмов Мартовской (V_1) и Галенитовой залежей (V_2), исходя из выражения $V_1 : V_2 = k^3$, составляет 9,3 : 1.

На основе рассмотренных зависимостей были построены геохимические модели и проведена оценка полиметаллических месторождений Рудного Алтая по данным их выборочного геохимического опробования и анализа эндогенной зональности оруденения. Исследования первичных ореолов и эндогенной зональности оруденения проводились в Зырянском и Лениногорском районах на хорошо разведанных Зырянском и Тишинском месторождениях, которые относятся к двум близким подтипам единой колчеданно-полиметаллической формации. Месторождения характеризуются различными моделями.

Колчеданно-полиметаллическое оруденение Зырянского и Лениногорского рудных районов приурочено к зонам интенсивно метасоматически изменённых и катаклазированных пород и руд с полной или частичной потерей первичных особенностей их строения. Воздействие наложенных на оруденение метаморфогенных, гидротермальных и магматических процессов привело к тому, что на всех объектах отмечается вертикальная геохимическая зональность.

Для построения геохимической модели Зырянского месторождения были привлечены данные по четырём месторождениям Зырянского района (Зырянскому, Снегирёвскому, 2-му Греховскому и Богатырёвскому). Близость геологических условий, морфологии рудных залежей, характера залегания руд и их вещественного состава находит отражение в распределении типоморфных элементов в рудах и первичных ореолах, что подтверждается данными изучения их геохимической зональности.

Основная задача исследования зональности хорошо разведанных месторождений – разработка геохимических критериев для оценки рудопроявлений той же рудной формации, выявляемых при поисках. Надёжность критериев обеспечивается одновременным изучением зональности ряда рудных объектов. Несмотря на некоторые различия в геологических и геоморфологических особенностях оруденения, месторождения Зырянского района можно рассматривать как генетически однотипные, что подтверждается близостью рядов вертикальной последовательности

отложения рудных элементов и наличием у них общих показателей зональности. Это допускает единый подход ко всей группе объектов при построении их формализованной модели. Задача может быть решена, если для данного формационного типа месторождений определены, по крайней мере, положения уровней, характеризующих верхний и нижний горизонты оруденения, и соответствующие им значения геохимических показателей зональности. В пределах одного разведочного профиля охватить весь интервал месторождения, от верхней до нижней выклинки, как правило, не удаётся в силу различных причин – эрозионного среза или отработанности и недоступности для геохимического опробования верхних уровней оруденения или недоразведанности нижних горизонтов. Восполнить этот пробел нередко удаётся за счёт геохимических данных по нескольким разведочным профилям того же месторождения. В других случаях это возможно сделать, проанализировав данные по нескольким однотипным месторождениям и построив обобщённую модель путём совмещения графиков v в общих точках. Численные значения геохимических показателей зональности для одноимённых горизонтов должны совпадать для всех однотипных месторождений. В реальных условиях порой наблюдаются значительные отклонения от этой идеальной картины. Уменьшить погрешность оценок оруденения позволяет привлечение нескольких геохимических показателей v . Определение верхнего и нижнего выклинивания оруденения проводится с помощью графиков линейных продуктивностей $M_z = f(z)$ основного компонента при условии устойчивого убывания величины M_z по восстанию от рудной залежи или с глубиной по падению подрудного ореола. Для построения формализованных моделей полиметаллических месторождений целесообразно использовать графики суммарной линейной продуктивности свинца и цинка $M_z = M_z(\text{Pb}) + M_z(\text{Zn})$, более устойчивой, чем продуктивность каждого элемента в отдельности.

Для рассматриваемых месторождений достаточно уверенно определяется верхнерудный уровень для Зырянского и нижнерудный для Богатырёвского месторождений. Выбрав по одному хорошо изученному разрезу на каждом месторождении, провели их совместную обработку. Исследования по программе «Ню-2» [4, 8], выполненные по схеме «объектов 4, min 4» с числом

уровней опробования на объектах 6 + 7 + 5 + 5, выявили девять монотонных геохимических показателей, однонаправленно убывающих на всех месторождениях. В табл. 1 приводятся рекомендуемые геохимические показатели и их граничные значения в различных интервалах рудных залежей. Полученные v позволяют проводить оценку уровней пересечений рудных тел в метрике обобщённой модели месторождений Зырянского района.

Построение обобщённой модели Зырянского месторождения основано на том же принципе подобия, а именно – объекты, относящиеся к одной формации, обладают сравнительным постоянством абсолютных содержаний основных компонентов в геометрически одноимённых точках рудных залежей и характеризуются близкими соотношениями содержаний типоморфных элементов. По показателям зональности проведена экстраполяция осреднённых графиков Зырянского месторождения до значений v , соответствующих границе нижнерудного – подрудного интервалов (см. табл. 1). Это позволило определить полную протяжённость рудной залежи Зырянского месторождения, которая составила 1410 м. Модель месторождения представлена рудной зоной с двумя рудными залежами в ядре крутопадающей изоклинальной складки, сложенной вулканитами кислого состава, крылья складки представлены кремнистыми и известковистыми алевролитами (рис. 2).

Аналогичным образом установлена полная протяжённость рудных интервалов месторождений до начала эрозии, в м: для 2-го Греховского – 720, Снегирёвского – 710, Богатырёвского – 480.

Для прогнозной оценки выбраны семь показателей зональности без участия в них главных рудных элементов свинца и цинка. По основным рудным компонентам оценены устойчивые значения продуктивностей $M_z = \text{const}$ по рудным зонам месторождений (рис. 3) и определён показатель подобия k_m через отношение линейных продуктивностей объекта к эталону. За эталон выбран профиль 6 Зырянского месторождения, параметры которого приняты за единицу. Одновременно по отношению тангенсов углов наклона графиков v по каждому из семи показателей зональности оценено среднее значение k_v для каждого из месторождений и определены величины доверительного множителя при оценке среднего (ϵ). Доверительный множитель ϵ позволяет по критерию Стьюдента оценивать статистическую значимость различий полученных оценок. Резкое возрастание доверительного множителя свидетельствует о генетических различиях между месторождениями. Такой же результат может быть получен при неудовлетворительном качестве и неполноте геохимического опробования или низкой точности анализа. В нашем случае среднее значение доверительного множителя при таксировании одноимённых уровней составило $\epsilon = 1,17^{\pm 1}$,

1. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗОНАЛЬНОСТИ КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗЫРЯНОВСКОГО РАЙОНА

Интервалы	Hg-Cd/ Cu-Mo	Sb-Ba/ Co ²	Ba-Ag/ Cu-Bi	Ba-Cd/ Cu-Bi	Ba-Sb/ Bi-Sn	Sb-Cd/ Bi-Sn	Pb-Sb/ Bi-Sn	Zn-Sb/ Bi-Sn	Zn-Ba/ Cu-Bi
Надрудный	$> 4,2 \cdot 10^{-3}$	$> 7,5 \cdot 10^4$	$> 7,9 \cdot 10^1$	$> 3,8 \cdot 10^2$	$> 2,7 \cdot 10^4$	$> 8,9 \cdot 10^2$	$> 1,8 \cdot 10^5$	$> 3,0 \cdot 10^5$	$> 1,2 \cdot 10^5$
Верхнерудный	$4,2 \cdot 10^{-3}$ $3,9 \cdot 10^{-4}$	$7,5 \cdot 10^4$ $2,4 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^1$ $8,5 \cdot 10^0$	$3,8 \cdot 10^2$ $3,1 \cdot 10^1$	$2,7 \cdot 10^4$ $9,3 \cdot 10^2$	$8,9 \cdot 10^2$ $3,9 \cdot 10^1$	$1,8 \cdot 10^5$ $7,1 \cdot 10^3$	$3,0 \cdot 10^5$ $1,6 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^5$ $9,3 \cdot 10^3$
Среднерудный	$3,9 \cdot 10^{-4}$ $3,5 \cdot 10^{-5}$	$2,4 \cdot 10^3$ $7,4 \cdot 10^1$	$8,5 \cdot 10^0$ $9,2 \cdot 10^{-1}$	$3,1 \cdot 10^1$ $2,5 \cdot 10^0$	$9,3 \cdot 10^2$ $3,2 \cdot 10^1$	$3,9 \cdot 10^1$ $1,7 \cdot 10^0$	$7,1 \cdot 10^3$ $2,8 \cdot 10^2$	$1,6 \cdot 10^3$ $8,1 \cdot 10^2$	$9,3 \cdot 10^3$ $7,2 \cdot 10^2$
Нижнерудный	$3,5 \cdot 10^{-5}$ $3,2 \cdot 10^{-6}$	$7,4 \cdot 10^1$ $2,3 \cdot 10^0$	$9,2 \cdot 10^{-1}$ $1,0 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^0$ $2,0 \cdot 10^{-1}$	$3,2 \cdot 10^1$ $1,1 \cdot 10^0$	$1,7 \cdot 10^0$ $7,5 \cdot 10^{-2}$	$2,8 \cdot 10^2$ $1,1 \cdot 10^1$	$8,1 \cdot 10^2$ $4,2 \cdot 10^1$	$7,2 \cdot 10^2$ $5,6 \cdot 10^1$
Подрудный	$< 3,2 \cdot 10^{-6}$	$< 2,3 \cdot 10^0$	$< 1,0 \cdot 10^{-1}$	$< 2,0 \cdot 10^{-1}$	$< 1,1 \cdot 10^0$	$< 7,5 \cdot 10^{-2}$	$< 1,1 \cdot 10^1$	$< 4,2 \cdot 10^1$	$< 5,6 \cdot 10^1$
Размах (R)	> 1300	$> 32\ 000$	> 790	> 1900	$> 24\ 000$	$> 12\ 000$	$> 16\ 000$	> 7100	> 2100

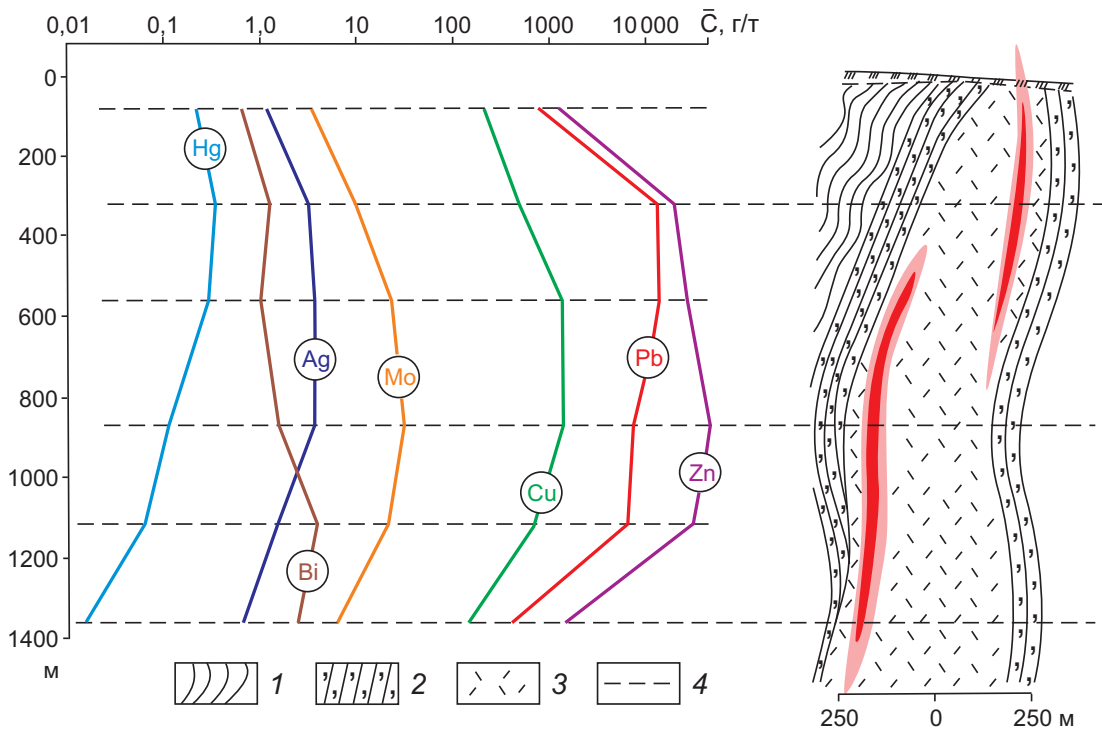


Рис. 2. ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЗЫРЯНОВСКОЕ:

1 – углисто-глинистые сланцы, известняки, песчаники; 2 – известково-кремнистые алевролиты; 3 – вулканы кислого состава; 4 – горизонты рудной зоны; остальные усл. обозн. см. рис. 1

что отвечает условиям хорошей сходимости получаемых оценок.

Поскольку независимые оценки k_v и k_m устойчивы, то за коэффициенты подобия k для каждого из месторождений можно принять значение их среднего геометрического (табл. 2).

Показатель подобия (k_v), как уже отмечалось, позволяет оценить полную протяжённость рудных интервалов, но не даёт их абсолютной величины. Реальная протяжённость на глубину оцениваемого рудного объекта требует учёта уровня его эрозионного среза (Z), определяемого по графикам показателей зональности в метрике эталонного месторождения. По полученным численным значениям показателей зональности (см. табл. 1), представленных в координатах Z (глубина), $Ig v$, произведена оценка уровней среза в метрике эталонного месторождения. Результаты оценки выражаются величиной:

$$Z = \bar{Z} \pm S/\sqrt{n}$$

где $\bar{Z} = 1/n \cdot \sum Z_i$ – средняя оценка уровня оруденения (m); S – стандартное отклонение отдельных оценок Z_i , определяемое через размах $R = (Z_{max} - Z_{min})$

и табличный множитель β ; \sqrt{n} – число различных v , взятых для оценки.

Доверительные интервалы оценки $\pm S/\sqrt{n}$ служат критерием генетической близости выявленного оруденения к эталонному месторождению. В случае, если $\pm S/\sqrt{n}$ превышают значения $\pm 50-60 m$, целесообразно пересмотреть выбор эталона [4]. По результатам оценки уровней эрозионного среза каждого месторождения определяется их реальная протяжённость на глубину и через значения k^3 подсчитаны объёмы (V) рудных залежей (см. рис. 3; см. табл. 2).

В Лениногорском районе для построения модели выбран эталонный профиль 0 Тишинского месторождения. По программе «Нью-2» проанализировано несколько композиций из 14 химических элементов по всем изученным месторождениям (Тишинскому, Гусяковскому, Стрежанскому, Шубинскому), что позволило обнаружить их вертикальную зональность и получить общие монотонные геохимические показатели. По графикам M_z для профиля 0 Тишинского месторождения установлена нижняя отметка рудного интервала.

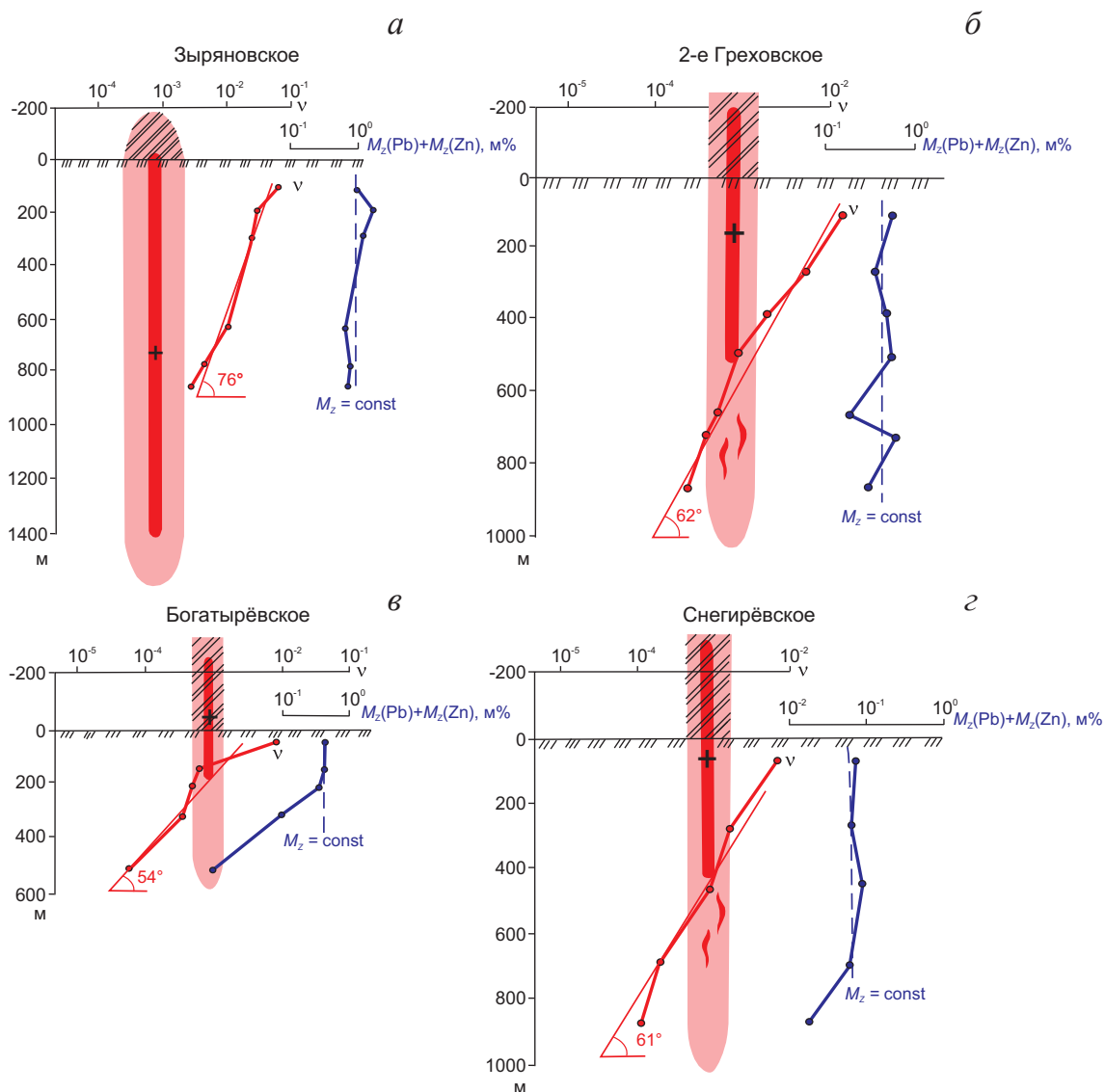


Рис. 3. ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ $v = \text{Sb-Hg/Bi-Sn}$, M_z И МОДЕЛИ ДЛЯ ФИГУР ПОДОБИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗЫРЯНОВСКОГО РАЙОНА:

усл. обозн. см. на рис. 1

Верхняя отметка рудного интервала отчётливо установлена на профиле -1 Гусяковского месторождения, расположенном рядом с эталонным для месторождения профилем 0, по которому проводились все расчёты. Можно допустить, что рудная залежь на профиле 0 также слабо затронута эрозией.

По совмещённым графикам показателей зональности и линейных продуктивностей по восьми одноимённым уровням оценена полная протяжённость модели. Модель Тишинского месторождения (до начала эрозии) представляет собой

линзообразное рудное тело общей вертикальной мощностью 1900 м. Основная рудная залежь залегает на контакте кварц-серицитовых сланцев и вулканогенных пород основного состава (рис. 4).

Прогнозная оценка месторождений Лениногорского района по параметрам v и M_z проведена с помощью шести геохимических показателей, вид которых согласуется с общим рядом зональности месторождений этого района. Числитель показателей представлен Hg, Sb, Ag; знаменатель – Co, Bi, Sn, Mo. По графикам v с учётом коэффициента подобия оценены уровни эрозионных срезов

2. РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПО ν И M КОЛЧЕДАННО-ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗЫРЯНОВСКОГО И ЛЕНИНОГОРСКОГО РАЙОНОВ

Месторождения	Профиль	$\kappa_M(\text{Pb})$	$\kappa_M(\text{Zn})$	$\kappa_M(\text{Pb, Zn})$	$\kappa_{\nu} \cdot \epsilon^{\pm 1}$	κ	Протяжённость залежей на глубину, м	Объёмы рудных залежей, усл. ед.
Зырянское	6	–	–	1,0	–	1,0	1410	7,9
2-е Греховское	0	0,39	0,43	0,41	$0,58 \cdot 1,12^{\pm 1}$	0,49	520 ± 15	0,7
Снегирёвское	05	0,32	0,85	0,53	$0,48 \cdot 1,21^{\pm 1}$	0,50	420 ± 10	0,5
Богатырёвское	5	0,58	0,24	0,37	$0,46 \cdot 1,18^{\pm 1}$	0,41	200 ± 20	0,2
Тишинское	0	–	–	1,0	–	1,0	790	9,6
Гусяковское	0	0,44	0,30	0,36	$0,28 \cdot 1,11^{\pm 1}$	0,32	780 ± 30	0,9
Стрежанское	5	0,13	0,09	0,11	$0,18 \cdot 1,16^{\pm 1}$	0,14	90 ± 45	0,1
Шубинское	6 ^a	0,04	0,06	0,05	$0,09 \cdot 1,39^{\pm 1}$	0,07	260 ± 60	0,1*

* без учёта слепых рудных залежей на глубине

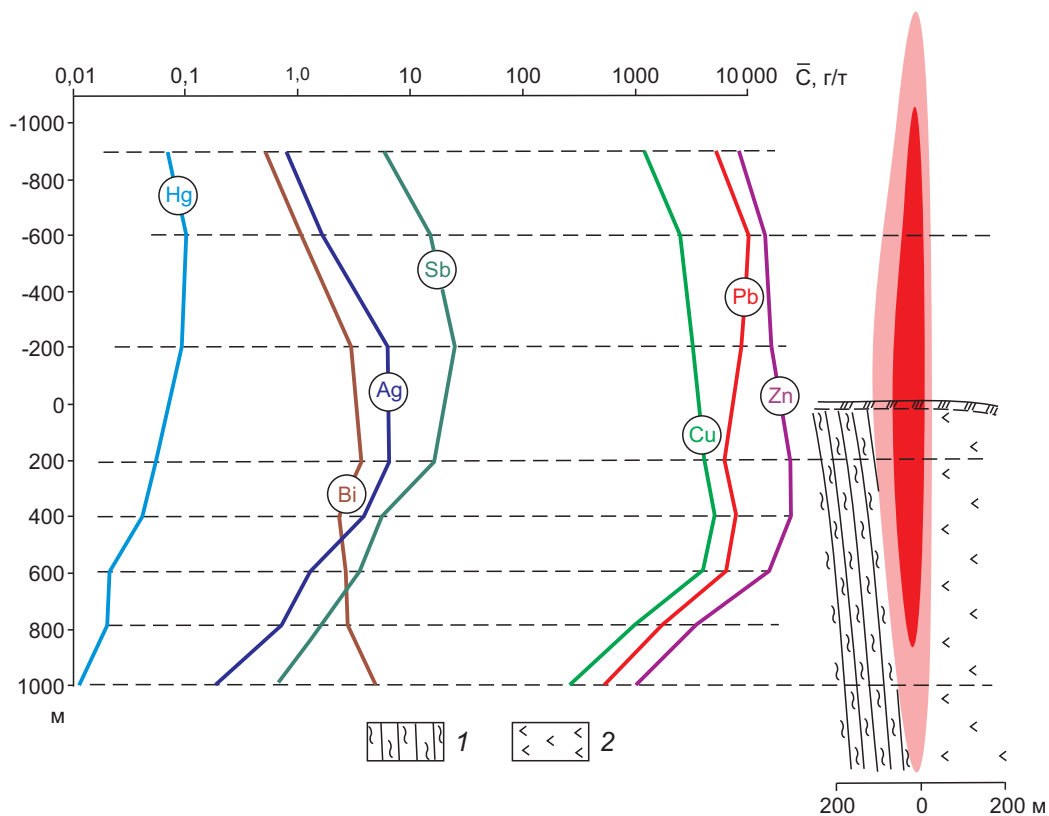


Рис. 4. ФОРМАЛИЗОВАННАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТИШИНСКОЕ:

1 – кварц-серцитовые сланцы; 2 – вулканогенные породы основного состава; остальные усл. обозн. см. на рис. 1 и 2

изученных месторождений, подсчитаны протяжённость рудных залежей на глубину и их объёмы (V) (рис. 5; см. табл. 2).

Эшелонированное размещение рудных залежей на месторождениях Рудного Алтая не такое редкое явление. Наличие первичных надрудных ореолов на глубоких горизонтах Шубинского месторождения видно по отклонению графика показателя геохимической зональности (см. рис. 5), что позволило прогнозировать наличие на глубине слепой рудной залежи. Рудная залежь была вскрыта поисковыми скважинами на глубине более 600 м.

Несмотря на то что приведённые расчёты имеют ориентировочный характер, прогнозная оценка изученных месторождений в целом совпадает с данными разведки. В настоящее время Зыряновское месторождение отработано. За 219 лет эксплуатации на нём было добыто порядка 5 млн т свинца и цинка. Значительные резервы руд сосредоточены в Греховском и Снегирёвском месторождениях. На них рудные залежи фиксируются до глубин 450–500 м, ниже они расщепляются на отдельные маломощные рудные тела. На Богатырёвском месторождении оруденение прослежено до глубины 300 м. В Лениногорском районе запасы

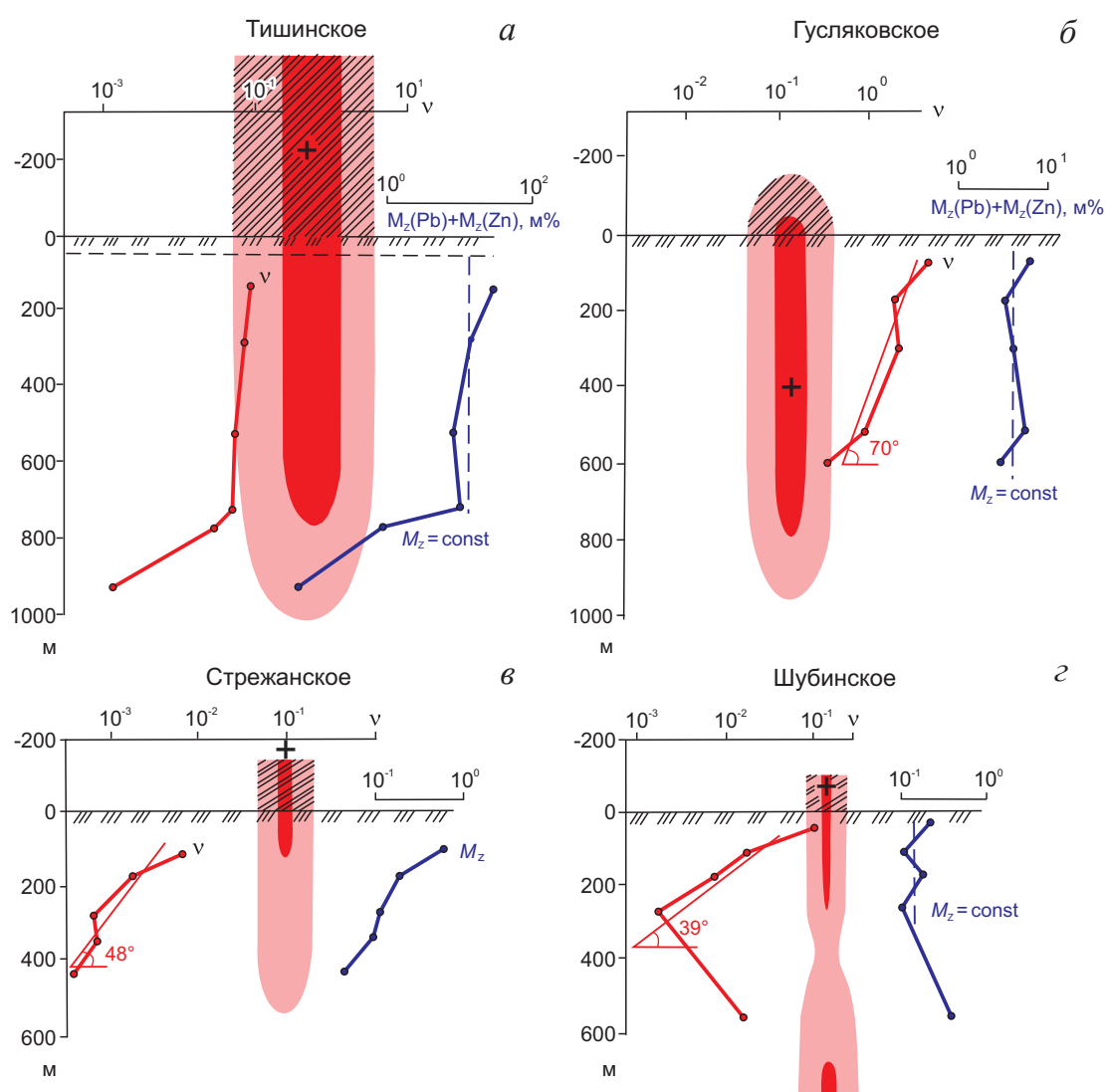


Рис. 5. ГРАФИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ $v = \text{Sb-Hg/Co-Sn}$, M_z И МОДЕЛИ ДЛЯ ФИГУР ПОДОБИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЛЕНИНОГОРСКОГО РАЙОНА:

усл. обознач. см. на рис. 1

запасы свинца, цинка и меди Тишинского месторождения составляют 7 млн т, Чекмарь-Гусялковского – 3 млн т.

Пространственная изменчивость оценок к при недостаточной изученности месторождения может существенно влиять на его прогнозную оценку. Наиболее устойчивыми значениями к характеризуются месторождения с простым геологическим строением, представленные выдержанными по мощности и по простиранию рудными залежами. Разумеется, даже для таких месторождений показатели к будут различными для разных сечений, отражая «растянутость» ($k > 1,0$) или «сжатость» ($k < 1,0$) оруденения по отношению к эталонному разрезу.

Результаты прогнозных оценок оруденения с помощью коэффициента подобия и анализа геохимической зональности на медно-порфировых, стратиформных свинцово-цинковых [7], золото-рудных [1], колчеданно-полиметаллических месторождениях российской части Рудного Алтая [3] свидетельствуют о реальности этого параметра.

Оценка выявляемых объектов, естественно, требует совместного рассмотрения всех имеющихся геологических, геофизических, геохимических данных при тщательном учёте морфологии и условий локализации оруденения. Привлечение к этим оценкам представлений о геохимическом подобии генетически однотипных месторождений особенно важно на стадии поисковых работ, при недостатке других данных. Сведения, полученные при полной геохимической характеристике месторождения на глубину, позволяют проводить модельные построения восстановлением интервалов оруденения, уничтоженных эрозией, и прогнозированием оруденения на глубину.

Использование геохимических моделей для прогнозной оценки месторождений базируется на теоретически обоснованном и подтверждённом практикой существовании геологического, геометрического и геохимического подобия генетически однотипных месторождений различной крупности. Этот основополагающий принцип применим к объектам ранга рудных районов и узлов [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мильяев С. А. Комплекс геохимических признаков для обоснования прогноза оруденения на глубину (на примере месторождений золотосульфидно-кварцевой и золотосеребряной формаций) // Отечественная геология. – 2016. – № 2. – С. 53–58.
2. Николаев Ю. Н. Критериальные геохимические модели рудных районов и узлов и их использование для прогноза оруденения // Прогнозно-поисковая геохимия – современное состояние и перспективы развития (к 100-летию со дня рождения А. П. Соловова). – М.: ИМГРЭ, 2008. – С. 64–82.
3. Кузнецов В. В., Кудрявцева Н. Г., Серавина Т. В. [и др.]. Основы прогноза и поисков колчеданно-полиметаллических месторождений Рудного Алтая. – М.: ЦНИГРИ, 2019. – 207 с.
4. Соловов А. П. Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1985. – 290 с.
5. Соловов А. П. Современное состояние и перспективы развития геохимических методов поисков рудных месторождений // Вестник Московского государственного университета. Серия Геология. – 1978. – № 2. – С. 46–67.
6. Соловов А. П., Мильяев С. А. Оценка генетически однотипных месторождений по v , M // Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. – Алматы [Алма-Ата]: КазИМС, 1981. – С. 213–219.
7. Соловов А. П., Матвеев А. А., Мильяев С. А., Чепкасова Т. В. Оценка прогнозных ресурсов на основе принципа подобия // Геохимические методы и научно-технический прогресс в геологическом изучении недр. – М.: Наука, 1989. – С. 5–19.
8. Соловов А. П., Архипов Ф. Я., Бугров В. А. [и др.]. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

REFERENCES

1. Milyaev S. A. Kompleks geokhimicheskikh priznakov dlya obosnovaniya prognoza orudneniya na glubinu (na primere mestorozhdenii zolotosul'fidno-kvartsevoi i zolotoserebryanoi formatsii) [A complex of geochemical features to justify the prediction of mineralization to depth (on the example of deposits of gold sulfidequartz and gold-silver formations)], *Otechestvennaya geologiya* [National geology], 2016, No 2, pp. 53–58. (In Russ.).
2. Nikolaev Yu. N. Kriterial'nye geokhimicheskie modeli rudnykh raionov i uzlov i ikh ispol'zovanie dlya prognoza orudneniya [Criteria geochemical models of

- ore regions and nodes and their use for the prediction of mineralization], *Prognozno-poiskovaya geokhimiya – sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya (k 100-letiyu so dnya rozhdeniya A. P. Solovova)* [Prediction and exploration geochemistry – current status and development prospects (on the 100th anniversary of the birth of A. P. Solovov)], Moscow, IMGRE Publ., 2008, pp. 64–82.
3. Kuznetsov V. V., Kudryavtseva N. G., Seravina T. V. [et al.]. *Osnovy prognoza i poiskov kolchedanno-polimetallicheskikh mestorozhdenii Rudnogo Altaya* [Basics of forecasting and searches for pyrite-polymetallic deposits of the Rudny Altai], Moscow, TsNIGRI Publ., 2019, 207 p.
 4. Solovov A. P. *Geokhimicheskie metody poiskov mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Uchebnik dlya vuzov* [Geochemical methods of prospecting for mineral deposits: Textbook for universities], Moscow, Nedra Publ., 1985, 290 p.
 5. Solovov A. P. *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya geokhimicheskikh metodov poiskov rudnykh mestorozhdenii* [The current state and development prospects of geochemical methods for prospecting ore deposits], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya Geologiya* [Moscow University Geology Bulletin], 1978, No 2, pp. 46–67. (In Russ.).
 6. Solovov A. P., Milyaev S. A. *Otsenka geneticheski odnotipnykh mestorozhdenii po v, M* [Assessment of genetically similar deposits by v, M], *Sostoyanie i zadachi geokhimicheskikh poiskov rudnykh mestorozhdenii v Kazakhstane* [State and tasks of geochemical prospecting of ore deposits in Kazakhstan], Almaty, KazIMS Publ., 1981, pp. 213–219.
 7. Solovov A. P., Matveev A. A., Milyaev S. A., Chepkasova T. V. *Otsenka prognoznykh resursov na osnove printsipa podobiya* [Estimation of forecast resources based on the principle of similarity], *Geokhimicheskie metody i nauchno-tekhnicheskii progress v geologicheskoy izuchenii nedr* [Geochemical methods and scientific and technological progress in the geological study of mineral resources], Moscow, Nauka Publ., 1989, pp. 5–19.
 8. Solovov A. P., Arkhipov F. Ya., Bugrov V. A. [et al.] *Spravochnik po geokhimicheskim poiskam poleznykh iskopaemykh* [Handbook of geochemical prospecting for minerals], Moscow, Nedra Publ., 1990, 335 p.

GEOCHEMICAL MODELS OF BASE METALS DEPOSITS; EXPERIENCE OF THEIR APPLICATION IN PREDICTIVE ESTIMATION OF MINERALIZATION

Milyaev S. A. (PhD in geology and mineralogy, leading researcher)

FSBI Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals

The main task of constructing geochemical models of ore deposits are justification the mineralization forecast depth, determination the denudation level of ore occurrences detected by lithochemical survey for secondary scattering halos, and taxing ore intersections in accordance of a genetically similar well-studied (reference) field. The principle of geometric and geochemical similarity of genetically similar objects is used for predictive evaluation of the studied objects at the early stage of exploitation. Based on the construction of generalized models of sections of polymetallic deposits in combination with geochemical features, a forecast estimation of mineralization is given.

Key words: forecast of mineralization, coefficient of similarity, geochemical zoning.

