

ДИСКУССИИ

УДК 550.84:553.261

© С.А.Миляев, 2013

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗНОЙ ОЦЕНКИ ЗОЛОТОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПО ДАННЫМ АНАЛИЗА ЭНДОГЕННОЙ ЗОНАЛЬНОСТИ

С.А.Миляев (ФГУП «ЦНИГРИ»)

Рассмотрены принципы прогнозной оценки золоторудных объектов по данным анализа эндогенной зональности месторождений.

Ключевые слова: первичные ореолы, геохимическая зональность, коэффициенты подобия.

Миляев Сергей Анатольевич, sermil52@yandex.ru

GEOCHEMICAL CRITERIA OF GOLD DEPOSITS ESTIMATION ON THE BASIS OF ENDOGENOUS ZONING

S.A.Milyaev

Prognostic assessment principles for gold deposits were reviewed to the assistance of similitude coefficients on the basis of endogenous zoning ore deposits.

Key words: primary haloes, geochemical zoning, similitude coefficients.

Основная задача исследования эндогенной геохимической зональности рудных месторождений — обоснование прогноза оруденения на глубину. Количественными характеристиками зональности в любой точке служат геохимические показатели v — безразмерные величины отношений между содержаниями типоморфных химических элементов, однонаправленно изменяющихся вдоль заданного направления. Геохимические показатели, характеризующие зональность эталонных месторождений, служат для оценки отдельных рудных пересечений объектов того же генетического типа. Это могут быть рудные интервалы, установленные при опробовании керна поисковых скважин, подземных горных выработок и канав, или вторичные ореолы рассеяния рудопоявлений, обнаруженные поисковыми съемками. В последнем случае задача состоит в оценке уровня их эрозионного среза.

Для прогнозной оценки изучаемых объектов на ранней стадии поисково-разведочных работ привлекается принцип подобия, являющийся развитием метода аналогий применительно к рудным месторождениям. В основе этого метода лежит предположение, что явления или объекты, сходные в известных отношениях, могут быть близкими и в иных ранее не отмеченных отношениях. Обоснование и последовательное развитие принципа подобия применительно к полезным ископаемым принадлежат А.П.Соловьеву, сформулировавшему его в 1968 г. [4]. Генетически однотипные месторождения различной крупности являются геометрическими и геохимическими фигурами подобия.

Месторождения, относящиеся к одной рудной формации, отличаясь по своим объемам и запасам полезного ископаемого, характеризуются близкой формой с устойчивыми отношениями между линейными размерами залежей. Естественно, что этот признак проявлен лишь в известных пределах, а именно при условии, что проводимая аналогия между однотипными месторождениями учитывает своеобразие каждого из сопоставляемых объектов. Отношения между содержаниями элементов в значительной степени обусловлены характером зональности объекта и закономерно изменяются в зависимости от геометрии рудного тела. Вместе с тем для геометрически одноименных точек рудного тела (например, для центров двух залежей) эти отношения будут величиной относительно постоянной.

Оценка уровней оруденения по данным изучения геохимической зональности проводится с помощью графиков $v=f(z)$ в метрах или в условной метрике, при которой полная вертикальная протяженность рудного тела в контуре первичного ореола основного ценного элемента принимается за 1,0. Верхняя выковка ореола обозначается $z=0,0$, начало промышленного оруденения $z=0,2$, его середина $z=0,5$, окончание $z=0,8$, нижняя выковка подрудного ореола $z=1,0$ [7]. Для обозначения границ первичного ореола основного элемента вкрест простирания объекта по латерали может быть принята та же метрика. Допустимо обозначать внешнюю (фронтальную) границу первичного ореола $x=0,0$, а центр рудной залежи $x=0,5$.

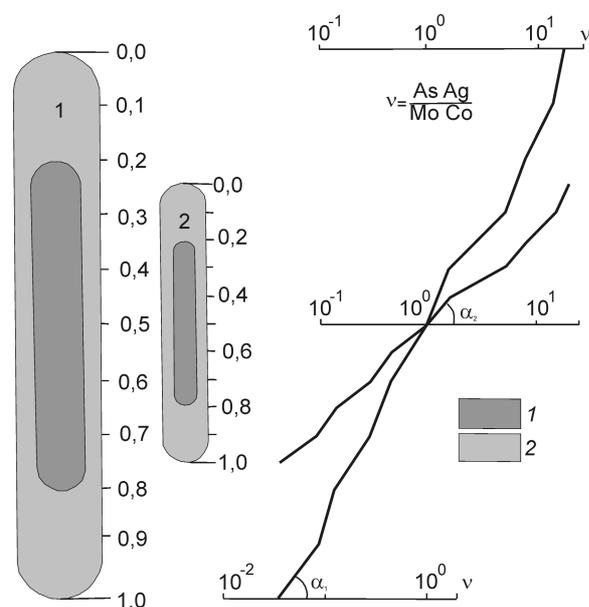


Рис. 1. Графики геохимических показателей зональности для генетически однотипных месторождений различной крупности, по А.П.Соловову, А.А.Матвееву, с упрощением:

1 — рудное тело; 2 — первичный ореол основного рудного элемента

Важнейшим следствием принципа подобия для методики геохимических поисков является то, что для генетически однотипных объектов различных классов крупности численные значения конкретного геохимического показателя зональности v будут одинаковыми в интервале $0 \leq z \leq 1,0$. При этом графики $v=f(z)$, построенные в полулогарифмическом масштабе, будут характеризоваться различными углами наклона α . Объектам большей крупности свойствен более крутой наклон графиков показателей зональности (слабоконтрастная вертикальная зональность), более мелким — пологий угол наклона графика v (контрастная вертикальная зональность). На рис. 1 приведены графики изменения геохимического показателя v для двух однотипных объектов, различающихся по классу крупности [1]. В этом случае отношение тангенсов соответствующих углов α_1 и α_2 , образованных осредненными графиками v с осью абсцисс, $\chi = \text{tg}\alpha_1 / \text{tg}\alpha_2$ [5] будут определять соотношение между размерами двух сравниваемых объектов через коэффициент подобия (χ). При отсутствии принципиальных геохимических отличий между двумя объектами устанавливаются следующие соотношения между их полной вертикальной протяженностью $H_1 = \chi H_2$.

Определить полную протяженность рудного интервала оцениваемого объекта можно также по

формуле [2] $H_{\text{полн}} = \lg(v_{0,2}/v_{0,8}) a \cdot b \cdot \text{tg}\alpha$. Здесь $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$ — численные значения геохимического показателя v соответственно для начала ($z=0,2$) и конца ($z=0,8$) интервала промышленных руд; α — угол наклона графика v ; a — линейный масштаб по оси глубин; b — модуль логарифмического масштаба. Допустимость подстановки в формулу значений $v_{0,2}$ и $v_{0,8}$, взятых по любым, в том числе разным месторождениям при условии их однотипности, вытекает из принципа подобия, согласно которому данный геохимический показатель зональности v при одинаковых значениях z для всех генетически однотипных месторождений имеет одинаковую величину.

Установление реальной протяженности рудного интервала на глубину требует учета уровня его аномального пересечения, определяемого по показателям зональности в метрике эталонного (модельного) месторождения по формуле [6] $H = (0,8 - Z_H) / 0,6 \cdot \chi \cdot H_{\text{полн.эт}}$, где Z_H — вертикальный уровень оцениваемого объекта в условной метрике.

Автор рассматривает вопросы количественной оценки протяженности оруденения и определения положения интервалов убогой минерализации относительно уровней с промышленными содержаниями золота на примере анализа геохимической зональности Васильковского месторождения в Северном Казахстане. Эталонное месторождение представлено золото-сульфидно-кварцевым штокверком в зоне контакта палингенных интрузий — порфиробластовых (калишпатизированных) гранодиоритов и часто перемежающихся пород габбро-диоритового состава, относящихся к зерендинскому интрузивному комплексу (O_2-S_1). Контакт осложнен узлом пересечения разноориентированных тектонических зон — Донгульгашской северо-западного простирания и Васильковской северо-восточного.

Рудные тела (зоны) имеют форму линейных и овальных в плане штокверков с вертикальным падением. Околорудные метасоматические ореолы характеризуются лиственит-березитовыми преобразованиями рудовмещающих пород. Во внешней зоне ореола наблюдается частичное замещение темноцветных минералов (биотита, амфибола, пироксена) хлоритом и карбонатом. В промежуточной количестве новообразований возрастает до 40–60%. В центральной (рудолокализирующей) метасоматиты занимают 80–100% объема пород, 30% из которых состоят из карбоната, кварца, серицита или кварца с серицитом [8]. По вертикали зоны березитизации весьма устойчивы и прослеживаются без существенных изменений минерального состава на глубину 500–600 м и более. Изучение хи-

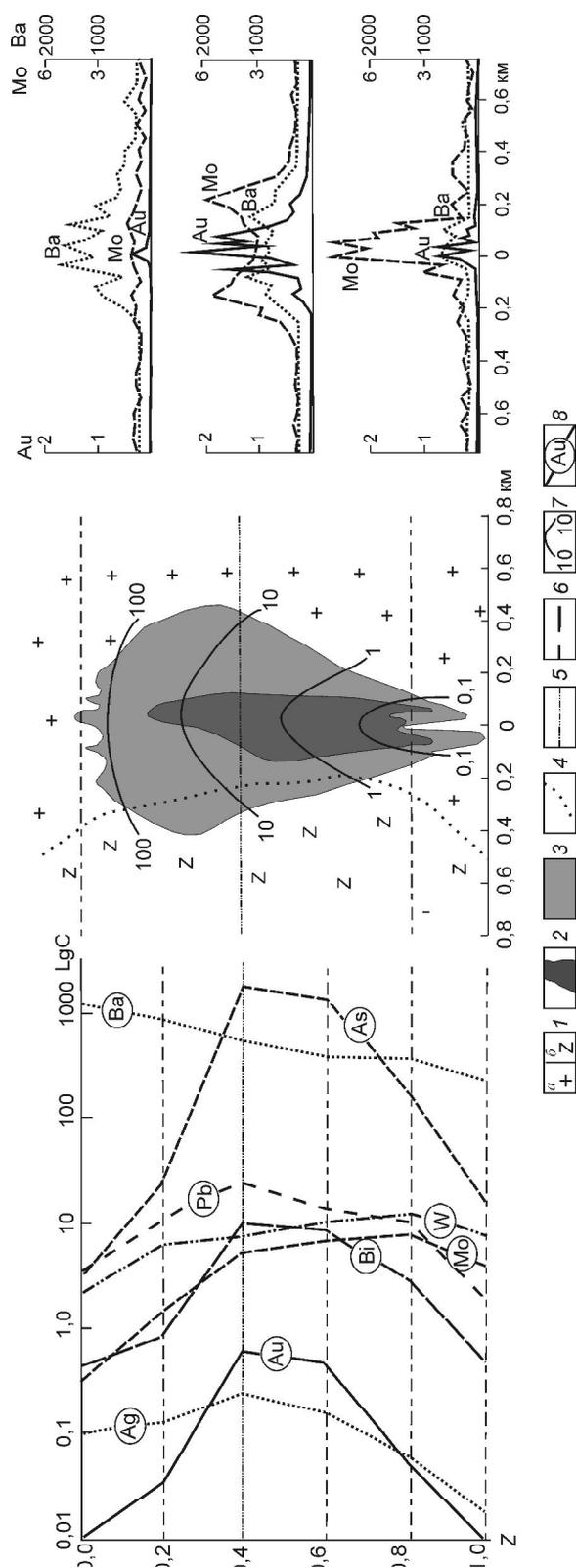


Рис. 2. Геохимическая модель Васильковского золото-полисульфидно-кварцевого месторождения.

1 — интрузивные породы (а — кислото, б — основного и среднего составов); 2 — рудная залежь; 3 — первичный ореол Au; 4 — контакт интрузивных пород различного состава; 5 — современный эрозионный срез; 6 — уровни (горизонты) рудной залежи; 7 — изолинии геохимического показателя зональности $v = \text{Ba} \cdot \text{Ag} / \text{Mo} \cdot \text{W}$; 8 — графики средних содержаний рудных элементов, г/т

мизма метасоматических преобразований свидетельствует о выносе из пород Na, Mg, Fe и привносе K, S. Переотложение вынесенных компонентов на выклинках рудоносных структур по вертикали определяет развитие в надрудном пространстве двух зон осаждения (снизу вверх) — хлоритовой и хлорит-альбитовой, распространяющихся выше кромки рудной залежи на расстояние 600–800 м [9]. Среди рудных минералов доминируют арсенопирит и пирит, в подчиненном количестве присутствуют самородный висмут, висмутин, марказит, халькопирит, пирротин, галенит и др. Золото тяготеет к кварц-арсенопиритовым прожилкам, ассоциирует с висмутовой минерализацией и выделяется главным образом в свободном виде [9]. Первичные геохимические ореолы представлены аномальными полями: Au, As, Bi, Ag, Cu, Hg, Pb, Sb, Ba, Mo, W, Zn, Sn, Co, V, Mn.

В основу построения метрической модели положены результаты эмиссионного спектрального анализа и атомно-абсорбционного на Au и Hg в виде средних содержаний типоморфных элементов в погоризонтных рудных сечениях по объектам Васильковского рудного поля (Основная залежь Васильковского месторождения, зоны Параллельная, Перспективная, участки Промежуточный, Дальний).

С помощью программы «Нью-2» [7] были отобраны восемь химических элементов и проанализировано несколько композиций для шести уровней золото-полисульфидно-кварцевого оруденения. В результате выявлена вертикальная и латеральная зональность эталона, положенная в основу модели. Геохимическая модель крупного золото-полисульфидно-кварцевого месторождения представлена в полном контуре его первичных ореолов, что для кру-

топадающих объектов отвечает интервалу от надрудного до подрудного горизонта. Согласно модели, полная вертикальная протяженность рудной залежи (до начала процесса эрозии) составляла ~1200 м. Изменения содержаний основных рудных элементов (Au, Bi, As) по вертикали отражают интервал промышленных руд, ограниченный верхней и нижней выклинками (рис. 2). Содержания сопутствующих элементов по падению рудной залежи изменяются иначе. Так, содержания Ва непрерывно убывают с глубиной, а W, Mo, наоборот, возрастают. В поперечных сечениях на уровне рудных интервалов отмечается латеральная зональность, выраженная максимальными содержаниями Au, As, Bi в пределах рудной залежи, а Ba, Mo, W за ее границами (см. рис. 2). Полученная модель характеризуется вертикальным рядом отложения элементов (снизу вверх): W, Mo, Au, Bi, As, Ag, Pb, Ba. Поперечная (латеральная) зональность представлена рядом (от флангов к центру): Mo, W, Ba, Ag, Pb, Bi, Au, As.

Графически геохимическая зональность модели Васильковского месторождения отображена (см. рис. 2) с помощью показателя $v = \text{Ba} \cdot \text{Ag} / \text{Mo} \cdot \text{W}$, монотонно убывающего с глубиной (>1000 раз) от значений >100 в надрудной части рудной зоны до <0,1 в подрудной. Особенностью поведения геохимического показателя является выполаживание изолиний значений по восстанию рудной залежи. Наиболее контрастно геохимическая зональность проявлена в пределах центральной части рудной зоны, менее контрастно — в промежуточной и внешней зонах ореола. Это находит отражение в значениях коэффициента подобия χ , которые изменяются в зависимости от поперечного (латерального) положения аномального пересечения. Таким образом, при геохимической оценке объектов штокверкового типа большую роль играет латеральное положение аномального сечения [3].

Для экспрессной оценки расположения геохимической аномалии относительно рудной залежи по программе «Нью-3» [7] получены уравнения многомерной регрессии, отражающие геохимическую зональность модели в вертикальном (Z) и латеральном (X) направлениях:

$$Z = 0,46 \lg \text{Mo} + 0,41 \lg \text{W} - 0,36 \lg \text{Pb} - 0,31 \lg \text{Ba} - 0,20 \lg \text{Ag} + 0,91,$$

$$X = 0,56 \lg \text{As} + 0,13 \lg \text{Bi} - 0,35 \lg \text{W} - 0,24 \lg \text{Mo} - 0,10 \lg \text{Ba} - 0,29.$$

Приведенные выражения позволяют определять пространственное положение рудной аномалии с минимальной случайной погрешностью. В этом случае χ определяется при наличии минимум двух сечений оцениваемого объекта, по которым могут быть получены координаты X_1, Z_1 — для пер-

вого сечения и X_2, Z_2 — для второго. Приняв за единицу геохимические параметры модели, оценку χ можно получить по формуле

$$\chi = l \cdot m / a \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2},$$

где l — расстояние между двумя сечениями оцениваемой аномалии, м; m — модуль масштаба условной метрики; a — линейный масштаб модели, м; $X_{1,2}, Z_{1,2}$ — координаты соответственно по латерали (X) и вертикали (Z) первого и второго сечений аномалии.

Возможность привлечения коэффициента подобия для прогнозной оценки золоторудных объектов рассмотрена на примере двух участков Васильковского рудного поля — Шункурколь и Сопряженная зона. Участок Шункурколь расположен в южной части рудного поля. В профиле структурно-поисковых скважин 16, 17, 18 была вскрыта серия линзо- и жилообразных тел хлоритизированных пород габбро-диоритового комплекса (аналогичного рудовмещающим образованиям Васильковского месторождения), а также кварц-альбитовых и хлорит-кварц-альбитовых метасоматитов мощностью от 1–2 до 10–15 м. Данный набор метасоматических продуктов полностью отвечает, согласно модели эталона золото-сульфидно-кварцевого оруденения, надрудному уровню рудоносных структур. Околорудная метасоматическая аномалия сопровождалась ореолами прожилков серого рудного кварца, пирита, флюорита, типичных для околорудного ореола прожилковой минерализации. Первичные ореолы рудных элементов ни в одной из указанных скважин не были зафиксированы. Для вскрытия рудовмещающих лиственит-березитов была пробурена скв. 8. Установлено наличие на глубинах 650–850 м серии маломощных (3–5 м) зон выщелачивания васильковского типа. В результате сплошного опробования керна секциями 2–5 м были выявлены первичные геохимические ореолы Au, As, Ba, V. В скв. 23, заданной для вскрытия зон изменения на нижележащих горизонтах, выявлены мощный раздвиг лиственито-березитов на глубинах 700–1100 м и наличие многочисленных интервалов с содержаниями Au 0,2–0,7 г/т [10]. На основе разработанных критериев было оценено положение обнаруженных аномалий в метрике модели Васильковского месторождения. Получилось, что скв. 8 фиксирует внешнюю часть первичного ореола золота ($\chi=0,14$) и соответствует по вертикали надрудному уровню рудной залежи ($z=0,11$). Скв. 23 вскрывает фланг рудной залежи ($\chi=0,20$) на отметке ее верхнерудного уровня ($z=0,26$). Для оценки полной вертикальной протяженности аномалии рассчитан коэффициент подобия (χ):

$$\chi = 170\text{м} - 0,1/200\text{м} \sqrt{(0,14 - 0,20)^2 + (0,11 - 0,26)^2} = 0,53.$$

С учетом вертикальной протяженности модели (1200 м) полный размах оруденения на участке Шункурколь может составлять >600 м. В целом участок считается весьма перспективным на обнаружение скрытого месторождения золото-полисульфидно-кварцевого типа [9,10].

Прогнозная оценка золотого оруденения на глущину по геохимическим данным рассмотрена на примере участка Сопряженная зона, расположенного в 300 м к северо-западу от Васильковского месторождения. В разряд перспективных участков отнесен благодаря выявлению в его пределах по данным картировочного бурения комплексных геохимических аномалий, некоторые из которых характеризовались промышленными содержаниями Au. Было определено положение уровней аномальных пересечений и оценен коэффициент подобия, средняя величина которого по данным 12 определений составила $\chi=0,17 \cdot 1,15^{\pm 1}$. Следовательно, полная вертикальная протяженность золото-полисульфидно-кварцевого оруденения до момента начала его эрозии равнялась 200 м. Средний уровень эрозионного среза участка по геохимическим данным оценен в метрике модели как среднерудный ($Z_H=0,53$). С учетом уровня эрозионного среза вертикальный размах оруденения составляет порядка 90–100 м. По данным полевого картирования околорудных метасоматических и минералогических ореолов этот участок был оценен как потенциально мелкое месторождение [9].

Результаты прогнозных оценок с помощью коэффициента подобия на основе геохимической зональности месторождений свидетельствуют о реальности этого параметра [1, 6]. На ранних стадиях геологического и геохимического изучения рудопроявлений к прогнозной оценке может привлекаться коэффициент подобия, определяемый по

значениям отношений между основными характеристиками оцениваемых и эталонных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев А.А., Соловов А.П.* Геохимические поиски месторождений полезных ископаемых. – М.: КДУ, 2011.
2. *Миляев С.А.* Литохимические поиски полиметаллических месторождений. – М.: Недра, 1988.
3. *Миляев С.А., Чекваидзе В.Б., Исакович И.З.* Количественная модель минералого-геохимических ореолов Васильковского золоторудного месторождения // Отечественная геология. 1994. № 7. С. 36–42.
4. *Соловов А.П.* Современное состояние и перспективы развития геохимических методов поисков рудных месторождений // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геол. 1978. № 2. С. 3–28.
5. *Соловов А.П., Миляев С.А.* Оценка генетически однотипных месторождений по ν, M // Состояние и задачи геохимических поисков рудных месторождений в Казахстане. Алма-Ата, 1981. С. 213–219.
6. *Соловов А.П., Матвеев А.А., Миляев С.А., Чепкасова Т.В.* Оценка прогнозных ресурсов на основе принципа подобия // Геохимические методы и научно-технический прогресс в геологическом изучении недр. М., 1989. С. 5–19.
7. *Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых /А.П.Соловов, А.Я.Архипов, В.А.Бугров и др.* – М.: Недра, 1990.
8. *Чекваидзе В.Б.* Поисковая минералого-геохимическая модель штокверкового золото-сульфидно-кварцевого оруденения // Советская геология. 1987. № 1. С. 121–126.
9. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Комплексная петрографо-минералого-геохимическая методика поисков золоторудных месторождений. – М.: Бородино-Е, 2004.
10. *Чекваидзе В.Б., Миляев С.А., Исакович И.З.* Варианты применения комплексной петрографо-минералого-геохимической методики при поисках золоторудных месторождений // Руды и металлы. 2008. № 4. С. 45–57.