

16. Гурский Ю. Н., Левшенко Т. В. О типах катионного обмена в системе осадок—иловая вода в связи с процессами метаморфизации иловых вод современных морских отложений//Литол. и полезн. ископ. 1981. № 2.
17. Гурский Ю. Н. Геохимия процессов формирования химического состава поровых (иловых) вод морских отложений и их классификация//Геохимия природных вод. Л., 1985. С. 242—252.
18. Гурский Ю. Н., Крупнов И. И. Фациально-генетическая зональность иловых вод//Литол. и полезн. ископ. 1985. № 6.
19. Гурский Ю. Н., Богашова Л. Г., Брусиловский С. А. и др. О возможных источниках металлов в поровых водах Красного моря//Геология морей и океанов. VII Всесоюз. школа морской геологии. М., 1986. Т. 3.
20. Дигхадн И. Э. Океанологические и геохимические особенности формирования металлоносных рассолов и осадков Красного моря: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. М., 1987.
21. Пушкина З. В., Степанец М. И., Яшкичев В. И. Основной химический состав иловых вод из осадков рассолоносных впадин Красного моря//Литол. и полезн. ископ. 1979. № 4.
22. Пушкина З. В., Степанец М. И., Орлова Л. П. и др. Fe, Mn, Cu, Co, Ni, Zn, Pb, Cd, V, Si в иловых водах рудоносных осадков Красного моря (впадины Атлантик-II и Дискавери)//Литол. и полезн. ископ. 1981. № 6.
23. Хендрикс Р., Рейсбик Ф., Махаффи Э. и др. Химический состав осадков и иловых вод из впадин Атлантик-II, Дискавери и Чейн//Современное гидротермальное рудоотложение/Под ред. Э. Дегенса и Д. М. Росса. М., 1974. С. 194—228.
24. Шишкина О. В. Геохимия морских и океанических иловых вод. М., 1972.
25. Эмери К., Хант Дж., Хейс Э. Общий обзор проблемы термальных рассолов и рудных осадков Красного моря//Современное гидротермальное рудоотложение/Под ред. Э. Дегенса, Д. М. Росса. М., 1974. С. 7—26.
26. Bäcker H., Richter H. Die resente hidrotermal-sedimentäre Lagerstätte Atlantis-II-Tief im Roten Meer//Geol. Rundschau. 1973. Vol. 62, N 3. S. 697—741.
27. Mannheim F. T. Red Sea geochemistry/Whitmarsh R. B., Weser O. E., Ross D. A. e. a.//Initial Reports of the DSDP. 1974. Vol. 23. P. 975—998.
28. Sass E., Ben-Yaakov S. The carbonate system in hypersaline solutions: Dead Sea brines//Mar. Chem. 1977. Vol. 5, N 2. P. 183—199.
29. Stoffers P., Ross D. A. Sedimentary history of Red Sea/Whitmarsh R. B., Weser O. E., Ross D. A. e. a.//Initial Reports of the DSDP. 1974. Vol. 23. P. 849—865.

Поступила в редакцию  
09.01.90

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 4, ГЕОЛОГИЯ. 1991. № 2

УДК 550.84.092.1:553.441

Ю. С. Литвиненко

### ПРОГНОЗНАЯ ГЕОХИМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НА РАННИХ СТАДИЯХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Переход от поисковых работ к более детальным исследованиям оруденения на глубину требует установления очередности оценки рудных объектов, определения мест заложения и последовательности проходки горных выработок и скважин, а также обоснования оптимальных глубин пересечения рудных тел. Решение этих вопросов имеет большое значение, поскольку именно на ранних стадиях геологоразведочного процесса решается дальнейшая судьба месторождения. Правильность выводов во многом зависит от того, насколько верно геологоразведчики представляют себе закономерности размещения, условия залегания и масштабы слагающих месторождение рудных тел, распределение полезного компонента в плоскости оруденения и на его глубину.

Существенную помощь при разработке стратегии и тактики работ может оказать прогнозная геохимическая модель, построенная по материалам предшествующих поисковых работ с учетом представлений,

сложившихся при изучении хорошо разведанных месторождений данного рудно-формационного типа, локализованных в сходных геологических условиях. Применение принципа геометрического и геохимического подобия генетически однотипных объектов различной крупности [3, 4] позволяет в значительной степени преодолеть трудности, возникающие из-за естественного на ранних стадиях работ недостатка информации. Неизбежные допущения при таких построениях заставляют рассматривать полученную модель лишь как наиболее вероятную рабочую версию, основанную на фактическом материале. По мере поступления результатов проходки горных выработок и скважин они дополняются и уточняются и приобретают более конкретное наполнение.

Ниже приведена прогнозная геохимическая модель близповерхностного золото-серебряного месторождения, отвечающая геологическим условиям одного из молодых вулканических поясов.

Рудное поле месторождения площадью 30 км<sup>2</sup> расположено на фланге крупной вулкано-тектонической депрессии в районе пересечения двух глубинных разломов северо-восточного и северо-западного простираний. В его строении принимают участие миоценовые игнимбриты, туфы и лавы кисло-среднего состава, перекрытые с угловым несогласием миоцен-плиоценовыми лавами и туфами среднего и среднеосновного состава, на которых залегают нижнечетвертичные платобазальты. С юго-запада рудное поле ограничено широкой поймой реки, выполненной потоками современных базальтов. Интрузивные образования широко представлены в районе преимущественно субвулканическими телами и дайками андезитов и андезито-базальтов плиоценового возраста.

Приуроченность месторождения к пересечению глубинных разломов сказалась в весьма интенсивной тектонической и гидротермальной проработке рудовмещающих пород. Метасоматическая зональность выражена в смене снизу вверх эпидот-хлоритовых, хлоритовых, хлорит-карбонатных пропилитов каолинит-гидрослюдистыми, каолинитовыми аргиллизитами. Вдоль тектонических трещин развиты многочисленные мощные (до 120 м) протяженные (до нескольких километров) жиллообразные крутопадающие тела гидротермальных кварцитов каолинит-кварцевого состава преимущественно северо-западного простирания.

Золото-серебряное оруденение представлено двумя морфологическими типами: сложно построенными, ветвящимися, лентообразными зонами тонкого каолинит-кварцевого прожилкования исключительно в телах гидротермальных кварцитов и жилами выполнения кварцевого, адуляр-гидрослюдисто-кварцевого состава северо-восточного простирания, развитыми вдоль контактов даек в приконтактных частях субвулканических тел.

Первый морфологический тип является основным и представлен золото-теллуридно-блеклорудным минеральным типом оруденения. Исследования вещественного состава этих руд [2] позволили выделить три продуктивных минеральных комплекса: золото-голдфилдит-кварцевый, теллур-сильванит-голдфилдит-каолинит-кварцевый, золото-гессит-гидрослюдисто-кварцевый. Золото высокопробное — 830—970. Рудные тела отличаются крайне неравномерным распределением полезных компонентов и отсутствием отчетливых геологических границ. Наблюдается довольно быстрое выклинивание обогащенных участков по простиранию и на глубину, что связано с дискордантностью ориентировки зон золотоносного прожилкования и вмещающих тел кварцитов [1]. Золоторудные кварцевые, адуляр-гидрослюдисто-кварцевые жилы имеют ограниченное распространение, встречены на одном участке в периферийной части месторождения и отнесены к золото-аргентитовому ми-

Таблица 1

## Геохимическая характеристика руд месторождения

| Минеральный тип руд            | Кондичии руд | Коэффициенты концентрации                        |   |   |   | Au : Ag |
|--------------------------------|--------------|--|---|---|---|---------|
|                                |              | >1000  | 100 + 1000  | 10+100  | 1,0+10  |         |
| Золото-теллуридно-блеклорудный | бедные       | —  | Au $\frac{960}{670}$ , Te $\frac{270}{492}$ , Ag $\frac{270}{492}$ , Se $\frac{236}{236}$ | Bi $\frac{16}{14}$ , Sb $\frac{14}{12}$ , Mo $\frac{12}{12}$                      | Pb $\frac{7,2}{5,0}$ , As $\frac{1,4}{1,1}$ , W $\frac{1,4}{1,1}$ , Cu $\frac{1,1}{1,1}$  | 1:5,6   |
|                                | богатые      | Au $\frac{15800}{2590}$ , Te $\frac{2590}{2590}$ | Ag $\frac{780}{492}$ , Se $\frac{492}{492}$   | Bi $\frac{56}{21}$ , Sb $\frac{21}{16}$ , Mo $\frac{16}{16}$                      | Pb $\frac{9,6}{7,4}$ , As $\frac{5,5}{1,1}$ , W $\frac{1,1}{1,1}$ , Cu $\frac{1,1}{1,1}$  | 1:1     |
| Золото-аргентитовый            | бедные       | —  | Au $\frac{220}{220}$  | Se $\frac{79}{67}$ , Te $\frac{67}{44}$ , Ag $\frac{44}{14}$ , Mo $\frac{14}{14}$ | Sb $\frac{9,0}{4,8}$ , Ni $\frac{2,2}{1,9}$ , As $\frac{1,5}{1,4}$ , Sn $\frac{1,4}{1,3}$ , Zn $\frac{1,4}{1,3}$ , Bi $\frac{1,3}{1,3}$ | 1:4     |
|                                | богатые      | Au $\frac{3300}{3300}$                           | Ag $\frac{160}{160}$  | Se $\frac{97}{75}$ , Te $\frac{75}{11}$ , Mo $\frac{11}{10}$ , Sb $\frac{10}{10}$ | Pb $\frac{5,6}{2,6}$ , Ni $\frac{2,3}{1,4}$ , Sn $\frac{1,4}{1,2}$ , Zn $\frac{1,2}{1,2}$   | 1:1     |

неральному типу. Главные рудные минералы представлены пиритом, блеклой рудой, самородным золотом, акантитом, полибазит-пирсеитом. Пробность золота в среднем 680. В связи с пространственной разобщенностью описанных минеральных типов характер их взаимосвязей не установлен.

Прогнозная геохимическая модель была создана по результатам бороздового опробования канав и траншей, пройденных по основным рудным телам: № 72, 62, 41 (золото-теллуридно-блеклорудный тип) и № 19 (золото-аргентитовый тип). Основой для геохимических построений послужили содержания элементов типоморфного комплекса, участвующих в рудном процессе, характеризующихся устойчивыми аномальными концентрациями в рудных телах и их ореолах. В табл. 1 приведены ряды элементов-индикаторов основных типов руд, ранжированные по величинам коэффициентов концентраций, рассчитанных как отношение среднего содержания элемента в руде к его местному геохимическому фону.

Несмотря на существенное различие минерального состава развитых на месторождении типов оруденения, их геохимические характеристики не обнаруживают кардинальных расхождений. Близок набор элементов-спутников и их порядок расположения в ранжированных рядах. Коэффициент ранговой корреляции между рядами для бедных руд равен 0,74, для богатых — 0,78 (при  $r_{5\%} = 0,53$ ). Адекватно поведение золото-серебряного отношения в зависимости от кондиций руд.

Из наиболее явных особенностей золото-аргентитового оруденения необходимо отметить общее уменьшение абсолютных значений коэффициентов концентрации большинства сквозных элементов, резкое падение роли теллура, слабую зависимость содержаний Se и Te от кондиций руд, изменение отношения Se/Te в пользу Se.

Наблюдаются различия минеральных типов и в характере корреляционных связей между слагающими их элементами. Так, для золото-теллуридно-блеклорудного типа характерна положительная корреляция золота с Te, Ag, Bi, Se, Cu; для золото-аргентитового — Au только с Ag и Se. В то же время отмечается наличие общих черт ассоциативных связей между группами элементов, отвечающих различным стадиям оруденения.

Особенности сходства и отличия вышеназванных образований позволяют предположить генетическое родство формировавших их гидротермальных растворов, которые в зависимости от условий рудоотложения генерировали различные минеральные ассоциации.

Изучение вертикальной геохимической зональности оруденения на поисковой стадии осложнено отсутствием подземных выработок и скважин, характеризующих различные уровни рудных тел в вертикальных профилях. Восполнить этот недостаток во многом помогло наличие глубоких эрозионных врезов долин водотоков, вскрывающих золотоносные образования на глубины до 200—300 м.

Совместные исследования зональности основных рудных тел месторождения проведены на ЭВМ по программе «Ню-2», составленной В. А. Николаевым на кафедре геохимии МГУ. Входными данными при вычислениях были приняты погоризонтные величины линейных продуктивностей элементов типоморфного комплекса ( $M$ , м%), рассчитанные по данным опробования горных выработок, пройденных на разных гипсометрических уровнях. В результате получен обобщенный ряд зонального отложения элементов (снизу вверх): Cu—As—W—Pb, Bi—Mo—Sb—Ag—Au.

Устойчивое крайне правое положение Au и Ag во всех частных рядах геохимической зональности позволяет предполагать отсутствие в ближайшем приближении к оцениваемым горизонтам второго рудного эшелона.

Одной из основных задач программы «Ню-2» является отыскание однонаправленно изменяющихся монотонных показателей геохимической зональности, обеспечивающих идентификацию уровней оруденения. Сложное строение рудных тел и допущения, имеющие место при сведении в единые вертикальные композиции погоризонтных сечений, значительно разобобщенных по латерали, не позволили выявить строго монотонные показатели. Из выделенных условно монотонных было отобрано пять показателей зональности 2-го порядка, отличающихся наиболее выраженной тенденцией однонаправленного изменения и наибольшим размахом значений:

$$v_1 = \frac{Au \cdot Ag}{Bi \cdot W}; \quad v_2 = \frac{Au \cdot Ag}{As \cdot Pb}; \quad v_3 = \frac{Au \cdot Ag}{Sb \cdot Pb}; \quad v_4 = \frac{Au \cdot Ag}{W \cdot Pb}; \quad v_5 = \frac{Ag \cdot Mo}{As \cdot Pb}.$$

Осложняет построение геохимической модели описываемого месторождения отсутствие рудного тела, опробованного от верхней до нижней выклинок оруденения. У одних тел (№ 72, 62, 41) эрозией уничтожены интервалы верхней выклинки, другие (№ 19), напротив, представлены в канавах верхнерудными сечениями и переходят в слепое залегание. В этих условиях геохимическая модель оруденения на принципе геометрического и геохимического подобия генетически однотипных объектов различной крупности была построена путем совмещения по одноименным точкам графиков  $v_i = f(Z)$  и  $M_{Au} = f(Z)$  рудных тел с различным эрозионным срезом, приняв за основу график наиболее изученного, принятого за эталон рудного тела № 72. На рис. 1 показан

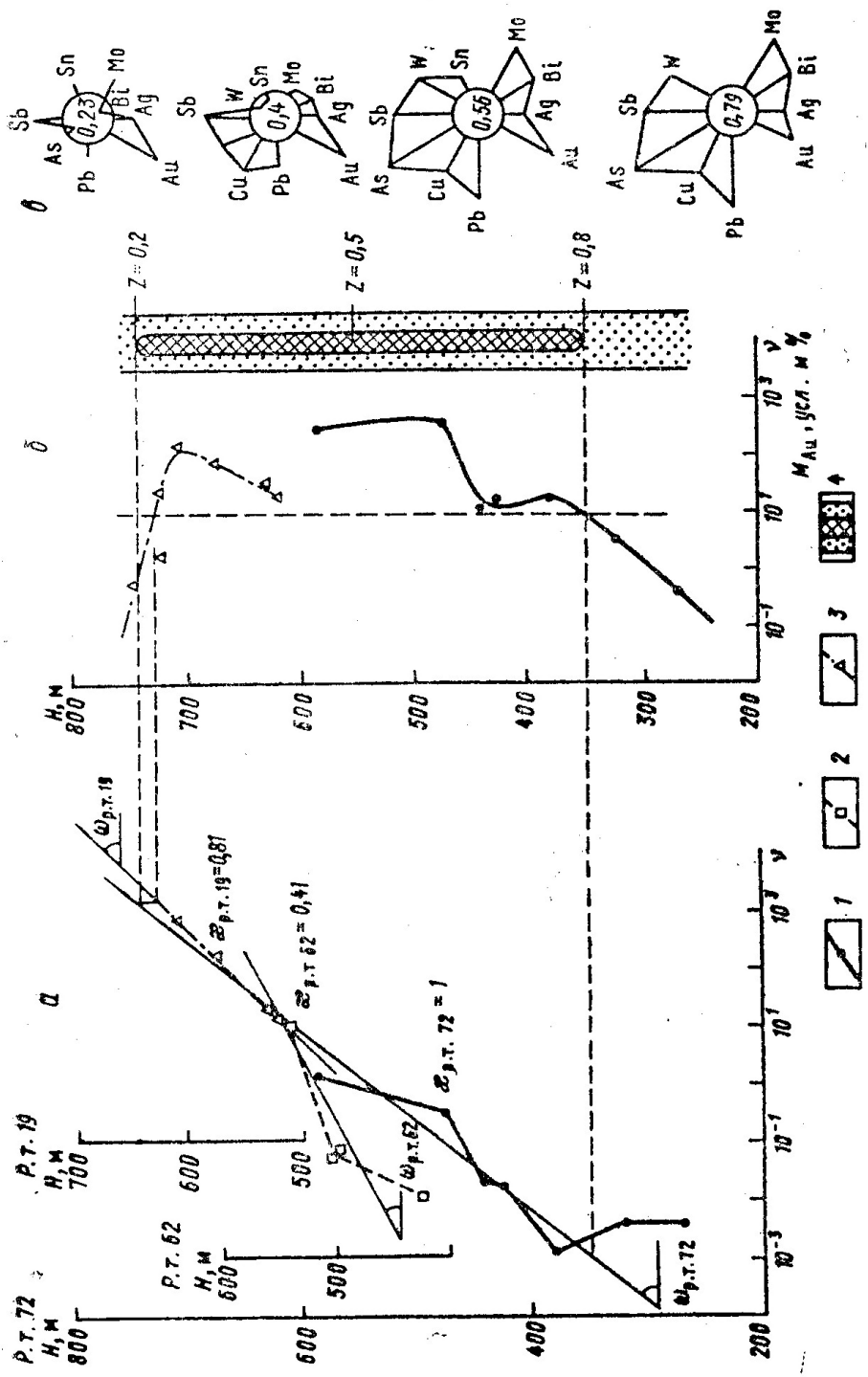


Рис. 1. Совмещенные графики  $\nu(Z)$  (а) и  $M(Z)$  (б) по рудным телам (р. т.): 1 — 72 (эталон); 2 — 62; 3 — 19; 4 — модель эталонного рудного тела и его первичного ореола; в — геохимические спектры погоризонтных сечений модели (в кружке уровень сечения в условной метрике).  $\omega_{p.т.}$  — коэффициент подобия, равный отношению  $\frac{M_{Au, усл. м \%}}{M_{Au, усл. м \%}}$  р. т. 72

принцип построения обобщенной модели по одному из выбранных показателей геохимической зональности  $v = \frac{Au \cdot Ag}{Bi \cdot W}$ . За бортовое значение линейной продуктивности золота принято  $M_{борт} = 1 \cdot 10^1$  усл. м·г/т. Величина  $M_{Au} = 2 \cdot 10^1$  усл. м·г/т, с которой начинается резкий изгиб графика  $M=f(Z)$  в область высоких концентраций, принята за порог богатых руд.

Согласно вышеуказанным графикам установлены значения показателей геохимической зональности  $v$  для различных уровней оруденения (табл. 2).

Таблица 2

Значения геохимических показателей зональности, соответствующие различным уровням рудных тел месторождения

| Уровни оруденения | Условная метрика | $v_1 = \frac{Au \cdot Ag}{Bi \cdot W}$ | $v_2 = \frac{Au \cdot Ag}{As \cdot Pb}$ | $v_3 = \frac{Au \cdot Ag}{Sb \cdot Pb}$ | $v_4 = \frac{Au \cdot Ag}{W \cdot Pb}$ | $v_5 = \frac{Ag \cdot Mo}{As \cdot Pb}$ |
|-------------------|------------------|--|---|---|--|---|
| Надрудный         | 0,0—0,2          | $>10^3$                                | $>10^0$                                 | $>10^{-1}$                              | $>10^1$                                | $>10^1$                                 |
| Верхнерудный      | 0,2—0,4          | $10^1—10^3$                            | $10^{-2}—10^0$                          | $10^{-2}—10^{-1}$                       | $10^0—10^1$                            | $10^0—10^1$                             |
| Среднерудный      | 0,4—0,6          | $10^{-1}—10^1$                         | $10^{-4}—10^{-2}$                       | $10^{-4}—10^{-2}$                       | $10^{-2}—10^0$                         | $10^{-2}—10^0$                          |
| Нижнерудный       | 0,6—0,8          | $10^{-3}—10^{-1}$                      | $10^{-6}—10^{-4}$                       | $10^{-5}—10^{-4}$                       | $10^{-4}—10^{-2}$                      | $10^{-3}—10^{-2}$                       |
| Подрудный         | 0,8—1,0          | $<10^{-3}$                             | $<10^{-6}$                              | $<10^{-5}$                              | $<10^{-4}$                             | $<10^{-3}$                              |

Значения показателей  $v_z$ , отвечающие верхней ( $Z=0,2$ ) и нижней ( $Z=0,8$ ) выклинкам промышленных руд, позволили определить полный вертикальный размах эталонного рудного тела № 72 ( $H_{п}$ ). Подсчеты проведены по каждому из пяти графиков  $v_z$  по формуле:

$$H_{п_i} = \lg \left( \frac{v_{0,2}}{v_{0,8}} \right) \cdot a \cdot b \cdot \operatorname{tg} \omega_i,$$

где  $v_{0,2}$  и  $v_{0,8}$  — численные значения показателей зональности соответственно для верхнего и нижнего контуров промышленных руд,  $a$  — линейный масштаб по оси  $Z$ ,  $b$  — модуль логарифмического масштаба по оси абсцисс,  $\omega$  — угол наклона графика  $v_z$ . За окончательную величину принято среднее арифметическое значение  $\bar{H}_{п}$  с вычислением доверительного интервала  $\pm s/\sqrt{n}$ , учитывающего среднеквадратичное отклонение  $s$  и  $n$  — число определений:  $\bar{H}_{п} = 440 \pm 15$  м. Высокая сходимость отдельных определений  $H_{п_i}$  говорит о надежности выбранных показателей  $v$ .

Закономерное изменение состава золотоносных образований относительно концентраций ценных металлов в вертикальном разрезе наглядно демонстрируют приведенные на рис. 1, в круговые геохимические спектры надфоновых количеств элементов ( $M$ , м%), нормированных на произведение продуктивностей золота и серебра.

Принцип геометрического и геохимического подобия позволяет оценить в метрике эталонного объекта прогнозные ресурсы и недостающие линейные размеры основных рудных тел месторождения [3, 4]. Необходимые для таких пересчетов коэффициенты подобия были приняты как среднее геометрическое  $\tilde{\kappa} = \sqrt{\tilde{\kappa}_v \cdot \tilde{\kappa}_M \cdot \tilde{\kappa}_L}$ . Здесь  $\tilde{\kappa}_v$  — среднее геометрическое частных  $\kappa_{v_i} = \frac{\operatorname{tg} \omega_i}{\operatorname{tg} \omega_{эТ}}$ , где  $\operatorname{tg} \omega_i$  и  $\operatorname{tg} \omega_{эТ}$  — тангенсы углов наклона графиков  $v_z$ , определяемых и эталонного рудных тел



(рис. 1, а);  $\kappa_{\bar{M}}$  и  $\kappa_L$  — рассчитаны соответственно как отношения средних геометрических продуктивностей золота на уровне промышленных руд  $\left(\kappa_{\bar{M}_i} = \frac{\bar{M}_{Au_i}}{\bar{M}_{Au_{эТ}}}\right)$  и горизонтальных протяженностей рудных тел  $\left(\kappa_L = \frac{L_i}{L_{эТ}}\right)$ . Результаты оценки прогнозных ресурсов ( $Q_{п}$ ) и полного вертикального размаха рудных тел ( $H_{п}$ ), подсчитанные соответственно из выражений  $Q_{п_i} = \kappa^3 Q_{п_{эТ}}$  и  $H_{п_i} = \kappa H_{п_{эТ}}$ , приведены в табл. 3. При этом ресурсы эталонного рудного тела № 72 приняты за единицу.

Таблица 3

Оценка прогнозных ресурсов и протяженности рудных тел на глубину в метрике эталонного рудного тела № 72

| № рудного тела | $\bar{\kappa}_v \cdot \epsilon \pm 1$ | $\kappa_{\bar{M}}$ | $\kappa_L$ | $\bar{\kappa} \cdot \epsilon \pm 1$ | $\bar{\kappa}^3 Q_{эТ}$ , усл. ед. | $\bar{H}_{п_{эТ}}$ , м | $Q_z$ , усл. ед. | $H_z$ , м |
|----------------|---------------------------------------|--------------------|------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------|------------------|-----------|
| 72             | 1                                     | 1                  | 1          | 1                                   | 1                                  | 440                    | 0,52             | 227       |
| 62             | 0,43 · 1,1                            | 0,2                | 0,42       | 0,33 · 1,3                          | 0,036                              | 145                    | 0,022            | 87        |
| 19             | 0,81 · 1,14                           | 0,55               | 0,5        | 0,61 · 1,2                          | 0,23                               | 268                    | 0,23             | 268       |
| 41             | —                                     | 0,5                | 0,3        | 0,39 · 1,4                          | 0,06                               | 172                    | 0,046            | 132       |

Малые величины доверительных интервалов  $\epsilon^{\pm 1}$  свидетельствуют о надежности выбранных характеристик.

Значительно больший интерес в практике геологоразведочных работ имеют реальные прогнозные ресурсы ( $Q_z$ ) и протяженности промышленных концентраций на глубину ( $H_z$ ), учитывающие уровень эрозионного среза рудных тел ( $\bar{Z}$ ) и определяемые по формулам

$$Q_z = \frac{0,8 - \bar{Z}}{0,6} \kappa^3 Q_{эТ}; \quad H_z = \frac{0,8 - \bar{Z}}{0,6} \kappa H_{п_{эТ}} \text{ (табл. 3).}$$

Степень эродированности золотоносных образований была установлена таксацией их поверхностных сечений в условной метрике эталона согласно табл. 2. При прогнозировании использованы средние арифметические значения  $\bar{Z}$  из пяти определений с вычислением доверительных интервалов  $\pm s/\sqrt{n}$  (табл. 4).

Таблица 4

Результаты таксации верхних сечений рудных тел в совмещенной метрике оруденения

| № рудного тела        | $Z_{v_1}$ | $Z_{v_2}$ | $Z_{v_3}$ | $Z_{v_4}$ | $Z_{v_5}$ | $\bar{Z}_v \pm S/\sqrt{n}$ |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------------------|
| 72                    | 0,48      | 0,49      | 0,52      | 0,5       | 0,47      | 0,49 ± 0,01                |
| 62                    | 0,39      | 0,44      | 0,44      | 0,37      | 0,55      | 0,44 ± 0,03                |
| 19                    | <0,2      | <0,2      | <0,2      | <0,2      | <0,2      | <0,2                       |
| То же, нижнее сечение | 0,38      | 0,4       | 0,35      | 0,34      | 0,42      | 0,38 ± 0,02                |
| 41                    | 0,36      | 0,34      | 0,2       | 0,3       | 0,51      | 0,34 ± 0,06                |

Наглядной иллюстрацией данных, приведенных в табл. 3 и 4, являются фигуры подобия основных рудных тел месторождения с реконструкцией эродированных частей и прогнозом оруденения на глубину (рис. 2), которые позволили однозначно говорить о первоочередности постановки разведочных работ на рудных телах № 72 и 19.

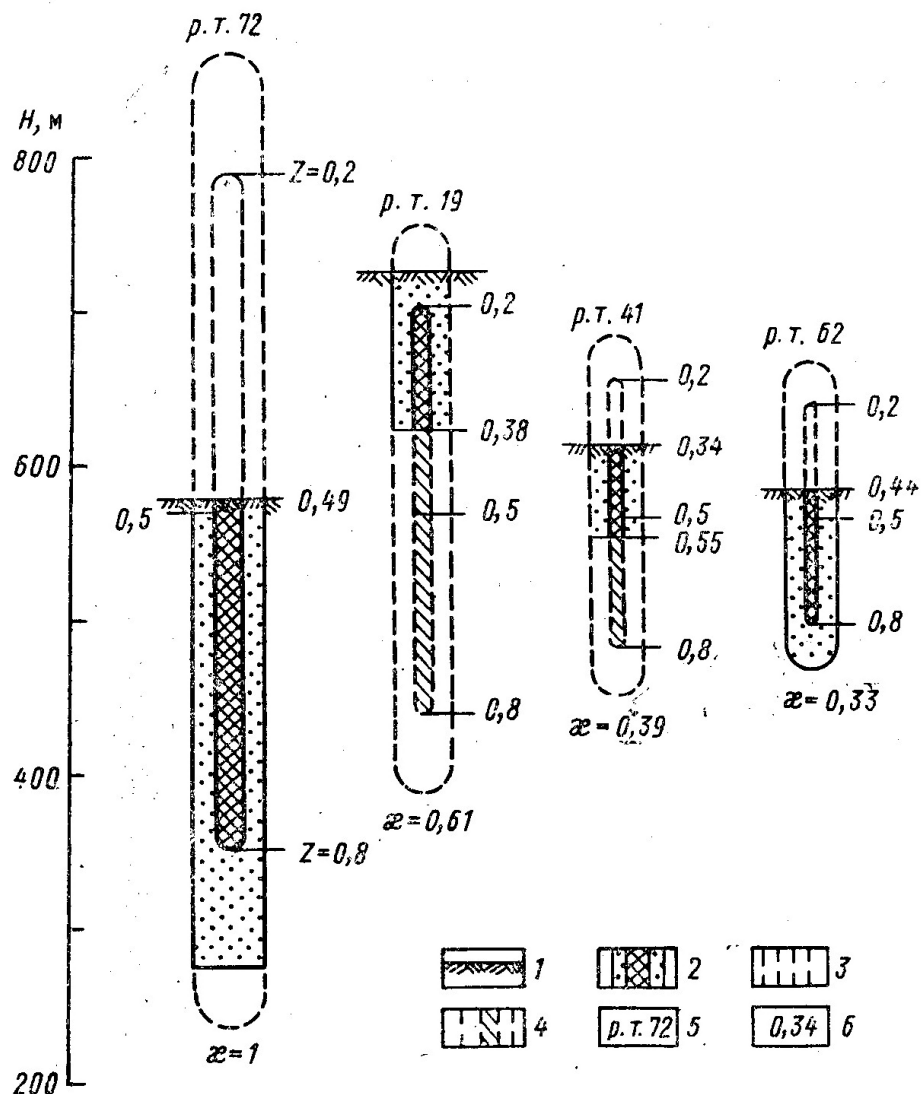


Рис. 2. Фигуры подобия основных рудных тел месторождения: 1 — уровни эрозионного среза; 2—4 — модели рудных тел и их первичных ореолов (2 — интервалы, вскрытые поверхностными горными выработками в эрозионных врезках, 3 — интервалы, уничтоженные эрозией, 4 — прогноз на глубину); 5 — номера рудных тел; 6 — уровень сечения в условной метрике

С целью выработки рекомендаций по направлению разведки рудного тела № 72 на его продольный вертикальный профиль в соответствии с прогнозной геохимической моделью были вынесены предполагаемые уровни нижней выклинки промышленных руд ( $M_{Au} \geq 1 \times 10^1$  усл. ед.) и их богатых горизонтов ( $M_{Au} \geq 2 \cdot 10^1$  усл. ед.), представляющих наибольший практический интерес (рис. 3, а). При этом было учтено представление о субгоризонтально вытянутой форме рудных тел, сложившееся при изучении хорошо разведанных месторождений золото-серебряной формации, локализованных в близких геологи-



ческих условиях. Исходя из построений было рекомендовано первоначально сконцентрировать основной объем подземных работ в северо-западной части тела до горизонта 400—450 м. На юго-восточном фланге кварцитов рудная минерализация представлена ниже- и подрудными сечениями (рис. 3, а), что позволяет значительно сократить здесь объем работ.

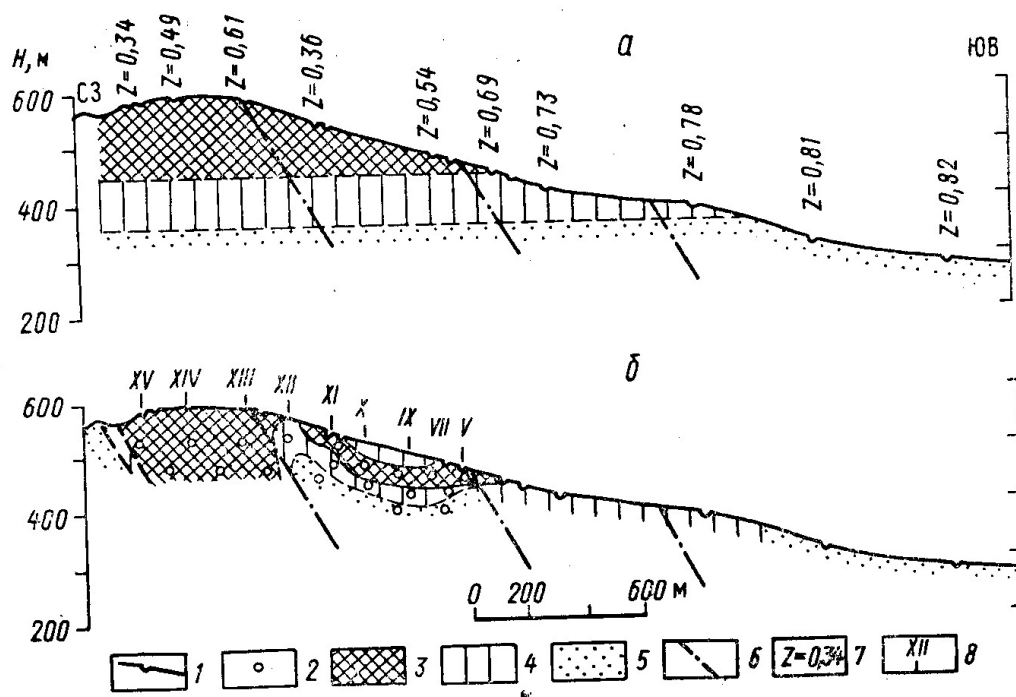


Рис. 3. Продольные вертикальные проекции рудного тела № 72 с прогнозом оруденения на глубину по данным поверхностных горных работ (а) и результатами бурения (б); 1 — канавы; 2 — скважины; 3 — контур богатых руд; 4 — контур бедных руд; 5 — первичный ореол; 6 — разрывные нарушения; 7 — уровни эрозионного среза в условной метрике; 8 — номера буровых профилей

Первые результаты буровых работ в основном подтвердили правильность рекомендаций и прогнозных построений по рудному телу № 72 (рис. 3, б). Куполообразное воздымание контуров промышленных руд, совпадающее с пересечением тела кварцитов разрывными нарушениями и примыканием к нему крупных апофиз, фиксирует канал интенсивной циркуляции гидротермальных растворов, что способствовало более высокому продвижению «горячих» растворов и соответствующему перемещению вверх уровня рудоотложения.

Приведенная выше схема прогнозного геохимического моделирования на ранних стадиях геологоразведочных работ позволяет более целенаправленно производить оценку месторождений и за счет этого значительно уменьшить неэффективные затраты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Литвиненко Ю. С. Особенности локализации полезного компонента из золоторудных месторождений // Структуры и минералого-геохимическая характеристика месторождений Казахстана. Алма-Ата, 1987. С. 94—99.
2. Орешин В. Ю. Опыт изучения руд неогенового золото-теллуридного проявления // Тр. ДНИГРИ. 1983. Вып. 178.

3. Соловов А. П. Геохимические модели при поисках и оценке рудных месторождений//Разв. и охрана недр. 1987. № 11.

4. Соловов А. П., Матвеев А. А., Миляев С. А., Чепкасова Т. В. Оценка прогнозных ресурсов на основе принципа подобия//Геохимические методы поисков и научно-технический прогресс в геологическом изучении недр. М., 1989. С. 5—19.

Поступила в редакцию  
24.08.90

ВЕСТН. МОСК. УН-ТА. СЕР. 4, ГЕОЛОГИЯ. 1991. № 2

УДК 548.736:549.752/757

О. В. Якубович, Е. Л. Белоконева, В. Г. Цирельсон, В. С. Урусов

### РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ПЛОТНОСТИ В КРИСТАЛЛАХ Fe-САРКОПСИДА $Fe_3(PO_4)_2$

Экспериментальное исследование синтетического саркопсида явилось продолжением систематического анализа распределения электронной плотности в синтетических фосфатах железа. Аналогичные работы проведены ранее для кристаллов  $KFeFPO_4$  [1] и трифилина  $LiFePO_4$  [2].

Розовые, прозрачные, хорошо ограненные кристаллы  $Fe_3(PO_4)_2$  (состав подтвержден данными качественного рентгеноспектрального анализа, CAMSCAN-4, AN-10 000), аналогичные описанным в [3], получены методом гидротермальной кристаллизации в системе  $FeO-CsF-(NH_4)_2HPO_4-H_2O$  ( $T=450^\circ C$ ,  $P=1000$  атм., концентрация водного раствора  $CsF$  30 мас.%) в Институте кристаллографии АН СССР.

Экспериментальный материал, необходимый для прецизионного исследования кристаллической структуры и распределения электронной плотности, получен на автоматическом четырехкружном дифрактометре Р1 «Синтекс» при съемке образца сферической формы. Использованы  $MoK_\alpha$ -излучение,  $2\theta-\theta$ -метод сканирования с переменной скоростью 2—24 °/мин, зависящей от интенсивности отражения. Интенсивности 4406 рефлексов измерены для полной сферы обратного пространства ( $0^\circ \leq \theta \leq 50^\circ$ ), по четыре эквивалентных отражения для рефлексов общего типа, а при больших значениях углов  $\theta$  от 50 до  $100^\circ$  — для полусферы. Параметры моноклинной элементарной ячейки:  $a=6,033(6)$ ,  $b=4,782(5)$ ,  $c=10,450(11)$  Å,  $\beta=90,96(8)^\circ$ .

В группах эквивалентных отражений с  $R_{вн}=\Sigma\{(I-\langle I \rangle)/\langle I \rangle\} > 20\%$  отбраковано около 200 рефлексов, резко отличающихся по интенсивности от средней по группе величины. В итоге средний по всему массиву отражений  $R_{вн}$  составил 2,76%. Окончательное число независимых рефлексов — 1800. Анализ погасаний подтвердил пр. гр. структуры саркопсида  $C_{2h}^5=P2_{1/c}$ . Все расчеты проведены с помощью специализированного комплекса программ MINEXTL. За исходные при уточнении структуры взяты координаты базисных атомов природного саркопсида  $(Fe_{0,78}Mn_{0,21}Mg_{0,01})_3(PO_4)_2$  [11] и синтетической Zn-содержащей разновидности  $(Fe_{0,76}Zn_{0,24})_3(PO_4)_2$  [4]. Однако прямое использование значений координат атомов с учетом различия в выборе осей и соответственно установки пр. гр.  $C_{2h}^5$  показало, что структурная модель несколько иная. При детальном сопоставлении координат атомов трех структур были выбраны правые системы координат, которым отвечали элементарные ячейки с тупыми углами моноклинности, близкими к