

УДК 550.84

Ю.Н. Сидорина<sup>1</sup>

## ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ НАХОДКИНСКОЙ ПОРФИРОВОЭПИТЕРМАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (ЗАПАДНАЯ ЧУКОТКА)

В результате факторного анализа геохимико-минералогических данных по скважинам выявлены геохимические ассоциации, позволяющие локализовать области развития оруденения для разных стадий формирования Находкинской порфирово-эпитермальной системы. Описаны латеральная зональность и закономерности распределения минерализации на глубину. Предложены показатели вертикальной зональности  $\text{AgPbZn/CuBiMo}$  и  $\text{AgAsSb/CuBiMo}$ , позволяющие оценить уровень эрозионного среза порфирово-эпитермальных систем и меднопорфировых штоков.

*Ключевые слова:* порфирово-эпитермальная система, меднопорфировый штокверк, эпитермальная минерализация, медь, золото, зональность, Находкинское рудное поле.

To locate different types of mineralization within the Nakhodka porphyry-epithermal system geochemical associations were determined by the means of factor analysis of geochemical and mineralogical drill hole data. Lateral and vertical geochemical zoning was indicated. To assess erosion level of the porphyry-epithermal systems and porphyry copper stockworks geochemical ratios  $\text{AgPbZn/CuBiMo}$  and  $\text{AgAsSb/CuBiMo}$  were used.

*Key words:* porphyry-epithermal system, porphyry copper stockwork, epithermal mineralization, copper, gold, zoning, Nakhodka ore field.

**Введение.** Согласно современным представлениям [Sillitoe, 2010], порфирово-эпитермальные системы (ПЭС) ассоциируют с магматическими дугами, сформированными на конвергентных границах плит. В рудных районах ПЭС группируются в кластеры или вытянутые зоны, линейные размеры которых могут достигать 5 и 30 км соответственно. В зависимости от условий формирования и уровня эрозионного среза в них могут быть представлены разнообразные типы оруденения:  $\text{Cu}\pm\text{Au}\pm\text{Mo}$ -порфировые месторождения, пространственно приуроченные к интрузиям;  $\text{Cu}\pm\text{Au}$ -,  $\text{Zn-Pb}\pm\text{Ag}$ -,  $\text{Au}$ -минерализация скарнового типа и типа карбонатного замещения по периферии магматических тел; удаленные субэпитермальные  $\text{Zn-Cu-Pb-Ag}\pm\text{Au}$ -жилы и  $\text{Au}\pm\text{Ag}\pm\text{Cu}$ -эпитермальные проявления типов «интермидиэйт салфидейшн» (intermediate sulfidation) и «хай салфидейшн» (high sulfidation). Построение моделей минералого-геохимической зональности ПЭС может внести существенный вклад в оценку перспективности оруденения на ранних стадиях разведки месторождений.

**Характеристика объекта исследований.** На территории России крупнейшие ресурсы меднопорфировых руд (28 млн т  $\text{Cu}$ , 1800 т  $\text{Au}$  [Читалин и др., 2013]) разведаны в Баимской меднорудной зоне (БМЗ), включающей известное месторождение Песчанка и Находкинское рудное поле (НРП). БМЗ входит в состав Олойского меднорудного пояса и протягивается на 170 км в меридиональном направлении. Административно территория исследований относится к

Билибинскому муниципальному району Чукотского автономного округа.

В геологическом строении БМЗ принимают участие верхнеюрские туфогенно-терригенные отложения, слагающие крупную брахиантиклиналь северо-северо-восточного простирания, по обрамлению которой развиты раннемеловые вулканогенные и вулканогенно-терригенные породы.

Интрузивные образования имеют возраст от раннетриасового до позднемелового. Продуктивен раннемеловой сиенит-монцонитовый егдыкычский комплекс, сформировавшийся в условиях активной континентальной окраины андского типа. Комплекс сложен породами четырех фаз внедрения: 1) порфировидными диоритами, 2) монцодиоритами, 3) сиенитами и 4) монцодиорит-порфирами и кварцевыми монцодиорит-порфирами.  $\text{Cu-Mo}$ -порфировое оруденение района пространственно связано со штоками и крупными дайками четвертой фазы.

Общую морфологию и структурные особенности района определяют ограничивающие разломы северо-западного и субмеридионального направления, а также диагональные рудоподводящие разломы, к которым приурочены мощные зоны дробления и смятия, эруптивные брекчи, субвулканические и гидротермальные образования. Зоны повышенной трещиноватости, примыкающие к этим разломам, вмещают рудные штокверки [Волков и др., 2006]. На площади месторождений интрузивные магматические и вулканогенно-осадочные породы метасоматически изменены в различной степени.

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геохимии, аспирантка; e-mail: bobbin@yandex.ru

Находкинское рудное поле, расположенное в южной части БМЗ, имеет площадь 40 км<sup>2</sup> и включает Cu–Mo–порфировые штокверки участков Находка, III Весенний, Прямой, Малыш и Au–Ag–месторождение Весеннее (рис. 1).

Минеральные ресурсы рудного поля (без участков III Весенний и Малыш), оцененные в 2012 г. консалтинговой компанией «IMC Montan» по категории Inferred кодекса JORC (соответствует C<sub>2</sub>+P<sub>1</sub> в российской классификации), составили 3,1 млн т Cu, 50 тыс. т Mo, 390 т Au, 2163 т Ag [Читалин и др., 2013].

Геологическое строение рудного поля (рис. 1) определяют верхнеюрские туфогенно-терригенные отложения, прорванные интрузивными и субвулканическими телами от позднеюрского до позднемелового возраста.

Наиболее древние штоки и дайки пропильтизированных позднеюрских габброидов, выходящих на поверхность на юге НРП. Здесь же среди вулканогенно-осадочных пород волжского яруса

весьма ограниченно развиты позднеюрские трахиандезиты.

Большая часть площади рудного поля занята интрузивом порфировидных диоритов, которые ранее относили к позднеюрскому–раннемеловому весеннинскому комплексу. Однако, согласно работе [Бакшеев и др., 2014], возраст цирконов из этих пород составляет 142–143 млн лет, что соответствует времени становления егдыктычского комплекса. К нему же относятся мелкие тела и дайки кварцевых монцодиорит-порфиров, группирующиеся в близмеридиональную зону шириной около 1 км и тяготеющую к восточной части НРП (участок Находка). Возраст пород 139,6±0,3 млн лет [Котова и др., 2012]. Породы массива изменены до карбонат-хлорит-альбит-кварц-серицитовых пород (филлизитов), биотит-калишпат-кварцевых метасоматитов, калиевых пропильтитов и спорадически развитых аргиллизитов.

Вулканогенно-терригенная толща и интрузивные породы перекрыты отложениями нижнемеловой

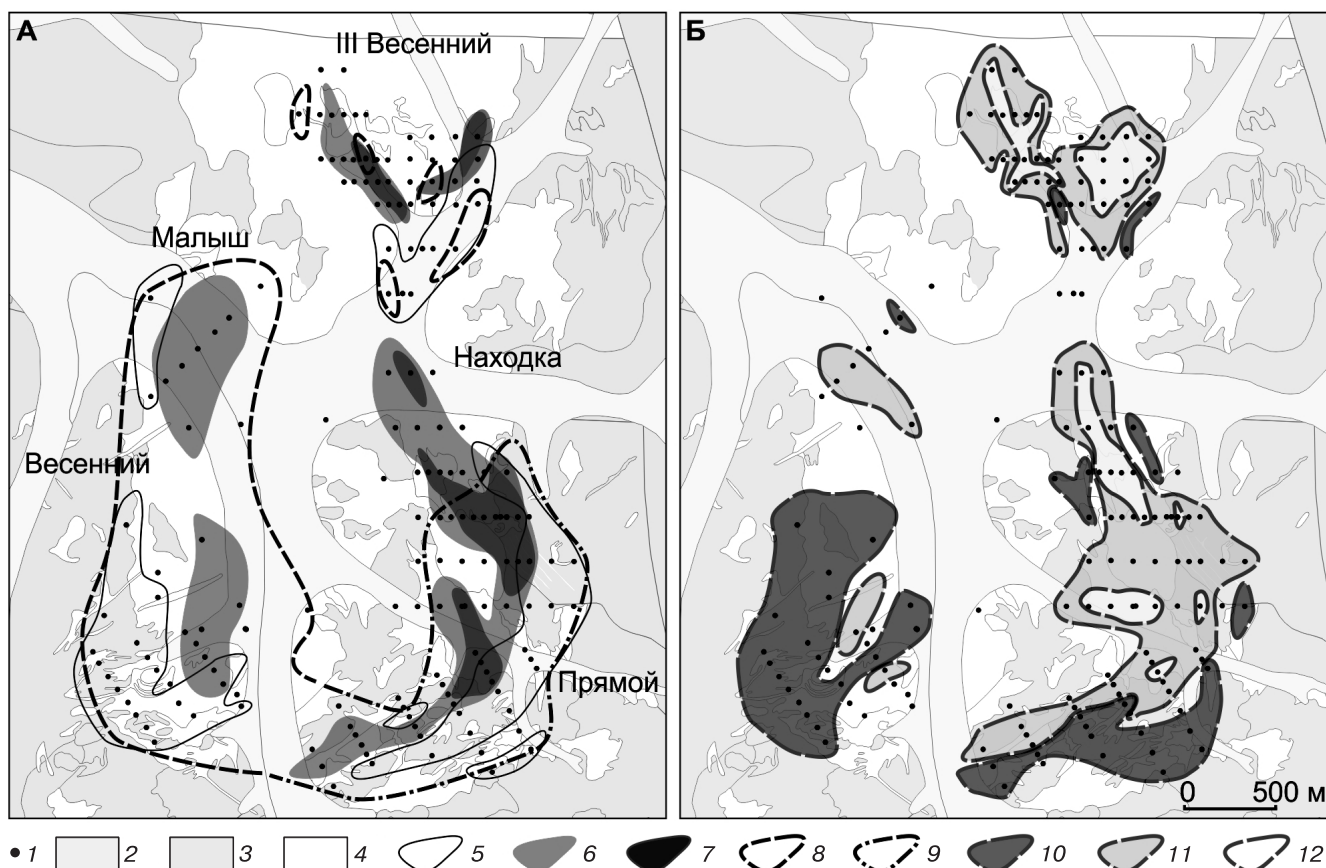


Рис. 1. Структура геохимического поля Находкинской ПЭС в плане (А — по данным факторного анализа, Б — по мультипликативному показателю): 1 — устья скважин; 2–4 — геологические образования: 2 — четвертичные отложения, 3 — дорудные магматические и пострудные терригенные и вулканогенные породы, 4 — тела порфиров егдыктычского комплекса, с которыми ассоциирует Cu–Mo–порфировое оруденение; 5–9 — области развития геохимических ассоциаций и соответствующие им элементы ПЭС: 5 — Fe(MnAu) — пиритовые оторочки рудных штокверков, 6 — Mo(Cu)–порфировые штокверки, 7 — BiCu(Se) — богатые борнитовые ядра Cu–Mo–порфировых штокверков, 8 — ZnPbCdMnAg(Au) и TeAuSe(Ag) — жильно-прожилковые зоны с субэпитермальной Ag–полиметаллической и эпитермальной Au–Ag–минерализацией, 9 — SbAs(CuSe) — проявления блеклорудной минерализации; 10–12 — области контрастных значений мультипликата (AuAgTe/CuMoBiSe)·1000: 10 — повышенные значения (>300), характерные для участков развития бледнометалльной эпитермальной минерализации, 11 — средние значения (0,1–10), отвечающие Cu–Mo–порфировым штокверкам, 12 — низкие значения (<0,1), соответствующие богатым борнитовым «ядрам» в рудных штокверках

айнах кургенской свиты осадочного комплекса, сохранившейся лишь на северо-востоке рудного поля.

Позднемеловые пострудные дайки базальтов и андезитов — самые молодые породы на рассматриваемой площади (исключая четвертичные образования).

Структура НРП определяется пострудными северо-западными и северо-восточными сдвигами и сбрососдвигами, пересекающими Весеннинское магматогенное поднятие. Некоторые из них наследуют до- и синрудные нарушения.

Меднопорфировые тела Находкинского рудного поля представляют собой немного вытянутые штокверки кварцевых и кварц-карбонатных прожилков с сульфидами, преимущественно связанные с кварц-серицитовыми метасоматитами. Главные рудные минералы представлены пиритом, халькопиритом, борнитом, блеклыми рудами, молибденитом, высокопробным самородным золотом.

В той или иной степени на всех участках развита субэпитермальная и эпитермальная минерализация (практическое значение имеет только на месторождении Весеннее), представленная кварц-карбонатными прожилковыми и жильными зонами с высокомышьяковистым пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом, минералами ряда теннантит-тетраэдрит, а также второстепенными энаргитом, электрумом, самородным золотом, гесситом, алтаитом, клаусталитом и редкими петцитом, пирсеитом, акантитом, фазами Pb—Bi—Se—Te, Ag—Te—Se, Ag—Bi—Se [Нагорная, 2013].

**Материалы и методы исследования.** При изучении геохимической зональности Находкинской порфирово-эпитермальной системы использованы результаты опробования керна 175 скважин, пробуренных на изучаемой территории в 2010–2013 гг. на глубину в среднем 300 м. Поинтервальный (средняя длина интервала 2 м) анализ керна проводили в аккредитованной лаборатории «Стюарт Геокемикл энд Эссей», где выполнены: 1) пробирный анализ с последующей атомно-эмиссионной спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-OES) на Pt, Pd, Au (нижний предел обнаружения 0,01 г/т); 2) спектрометрия ICP-OES после окислительного растворения проб в смеси кислот на 40 химических элементов (пределы обнаружения основных рудных

и сопутствующих элементов (г/т): Ag 0,5; As 5; Bi 5; Cd 1; Cu 1; Fe 100; Mn 1; Mo 1; Pb 2; Sb 5; Se 10; Te 10; Zn 1. В пробах с содержанием Cu >1% ее повторно определяли с применением другой пробоподготовки — окислительного растворения с HBr и последующим ICP-OES-анализом. Точность определения концентрации элементов составила  $\pm 5\%$ . Систематические и случайные погрешности анализа по результатам внутрилабораторного контроля укладываются в диапазон (%)  $0,84 < \delta_{\text{сист}} < 1,13$  и  $1,0 < \delta_{\text{случ}} < 1,32$ .

Помимо результатов химического анализа привлекалось минералогическое описание, проведенное «Сибгеоконсалтингом» при документации керна, где каждый интервал охарактеризован процентным содержанием главных рудных минералов.

Первичная обработка данных [Соловов и др., 1990] заключалась в расчете параметров геохимического фона, статистическом анализе распределения концентрации элементов по участкам и оконтуривании областей аномального содержания меди и основных элементов-спутников в плане и по разрезам. Фоновое содержание рассчитано для коренных пород территории, наименее затронутых метасоматическими преобразованиями.

Выделение первичных ореолов меди проводили с изоконцентраты 250 г/т Cu — они занимают практически весь объем горных пород, вскрытых скважинами. Визуально документируемая медная минерализация соответствует интервалам с содержанием Cu 0,1% и выше. Этот контур принят за границу рудного штокверка.

В геохимическом поле наибольшую степень концентрации, помимо меди, имеют Mo, Au, Ag, Bi, Se, Te, As, Sb, Zn, Pb, Cd, Fe, Mn, входящие в состав минералов меднопорфировых, субэпитермальных и эпитермальных руд (табл. 1). Пространственное распределение этих элементов и связи между ними удалось наиболее эффективно охарактеризовать в терминах геохимических ассоциаций, выявленных средствами факторного и корреляционного анализов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Геохимические данные по скважинам были обработаны в программе STATISTICA методом факторного анализа главных компонент [Боровиков, 2013]. В результате обработки получено шесть факторов с суммарным

Таблица 1

Среднее содержание основных и сопутствующих рудных элементов в разных типах минерализации Находкинского рудного поля

| Минеральная ассоциация     | Ag  | As  | Au   | Bi  | Cu   | Fe  | Mo  | Pb  | Sb   | Se  | Te  | Zn   |
|----------------------------|-----|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|
|                            | г/т |     |      |     |      | %   | г/т |     |      |     |     |      |
| Пиритовая                  | 3,2 | 109 | 0,32 | 2,9 | 1357 | 4,2 | 38  | 248 | 8,0  | 6,6 | 6,4 | 552  |
| Халькопирит-молибденитовая | 2,1 | 119 | 0,26 | 2,8 | 2675 | 3,3 | 50  | 148 | 9,1  | 6,3 | 5,7 | 308  |
| Борнитовая                 | 1,0 | 111 | 0,30 | 3,0 | 4038 | 3,3 | 23  | 13  | 5,4  | 6,6 | 5,1 | 62   |
| Блеклорудная               | 2,2 | 325 | 0,30 | 3,0 | 3457 | 3,2 | 49  | 169 | 23,8 | 7,0 | 5,5 | 346  |
| Сфалерит-галенитовая       | 8,2 | 124 | 0,60 | 2,8 | 881  | 3,5 | 36  | 974 | 7,4  | 5,8 | 7,1 | 1956 |

вкладом, равным 77% от общей изменчивости аномального геохимического поля, они отражают корреляционные связи между четырнадцатью рудными элементами (табл. 2).

Таблица 2

Результаты факторного анализа методом главных компонент исходных геохимических данных по скважинам: факторные нагрузки после вращения варимакс

| Элементы | Факторы      |             |             |             |             |             |
|----------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|          | F1           | F2          | F3          | F4          | F5          | F6          |
| Ag       | <b>0,66*</b> | 0,15        | <b>0,49</b> | 0,08        | 0,09        | 0,09        |
| As       | 0,08         | <b>0,84</b> | 0,02        | 0,17        | 0,15        | 0,14        |
| Au       | <b>0,26</b>  | 0,03        | <b>0,72</b> | <b>0,21</b> | 0,04        | 0,10        |
| Bi       | 0,07         | 0,04        | 0,07        | 0,08        | <b>0,86</b> | −0,10       |
| Cd       | <b>0,88</b>  | 0,03        | 0,12        | −0,04       | 0,05        | 0,00        |
| Cu       | −0,07        | <b>0,23</b> | 0,11        | 0,00        | <b>0,66</b> | <b>0,40</b> |
| Fe       | 0,03         | 0,04        | 0,06        | <b>0,93</b> | 0,07        | −0,09       |
| Mn       | <b>0,72</b>  | −0,01       | −0,04       | <b>0,37</b> | −0,14       | −0,07       |
| Mo       | 0,03         | 0,03        | 0,01        | −0,09       | 0,01        | <b>0,93</b> |
| Pb       | <b>0,91</b>  | 0,06        | 0,11        | −0,04       | 0,02        | 0,02        |
| Sb       | 0,06         | <b>0,89</b> | 0,12        | −0,08       | 0,02        | −0,05       |
| Se       | 0,00         | <b>0,20</b> | <b>0,65</b> | 0,00        | <b>0,34</b> | −0,03       |
| Te       | 0,11         | 0,05        | <b>0,90</b> | −0,03       | 0,01        | −0,02       |
| Zn       | <b>0,94</b>  | 0,03        | 0,05        | 0,03        | 0,01        | 0,02        |

\* Полужирным шрифтом выделены значимые значения факторной нагрузки.

Элементы в соответствии с их «весом» группируются в факторы, или геохимические ассоциации, которые можно сопоставить с минеральными парагенезисами основных стадий рудоотложения. Соотнесение геохимических ассоциаций со стадиями рудоотложения подтверждается значениями коэффициента корреляции между значениями факторов и содержанием главных рудных минералов

Таблица 3

Корреляция между содержанием сульфидов и значениями факторов по интервалам опробования керна скважин

| Минералы     | Факторы     |             |              |             |             |             |
|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
|              | F1          | F2          | F3           | F4          | F5          | F6          |
| Пирит        | 0,06        | 0,02        | <b>0,16*</b> | <b>0,24</b> | 0,12        | −0,01       |
| Халькопирит  | −0,05       | 0,06        | 0,06         | 0,01        | <b>0,27</b> | <b>0,21</b> |
| Борнит       | −0,12       | −0,03       | <b>0,18</b>  | 0,09        | <b>0,28</b> | 0,10        |
| Блеклые руды | 0,07        | <b>0,18</b> | −0,06        | 0,08        | 0,12        | 0,05        |
| Молибденит   | 0,09        | −0,02       | −0,01        | −0,03       | 0,05        | <b>0,18</b> |
| Сфалерит     | <b>0,51</b> | −0,03       | <b>0,14</b>  | −0,09       | 0,11        | 0,05        |
| Галенит      | <b>0,37</b> | 0,01        | 0,01         | −0,04       | 0,07        | 0,01        |

\* Полужирным шрифтом выделены значимые значения коэффициента корреляции.

по соответствующим интервалам керна скважин (табл. 3, 4).

Значения фактора F4 коррелируют с количеством пирита, что дает основание связать геохимическую ассоциацию Fe(MnAu) с наиболее ранней золото-пиритовой минерализацией порфирового этапа формирования рудоносной структуры. Значения фактора F6, отвечающие ассоциации Mo(Cu), статистически связаны с содержанием халькопирита и молибденита, образующих основной минеральный парагенезис Cu–Mo-порфирового оруденения. Значения фактора F5 коррелируют с содержанием борнита и халькопирита, что позволяет соотнести геохимическую ассоциацию CuBi(Se) с наиболее богатыми борнитовыми рудами позднепорфировой стадии рудоотложения. Однозначно интерпретируется выделенная по значениям F2 геохимическая ассоциация SbAs(CuSe), имеющая корреляцию с блеклорудной минерализацией, формирующейся на границе порфирового и эпитептермального этапов развития ПЭС.

Минерализация эпитептермального этапа формирования ПЭС характеризуется ассоциациями

Таблица 4

Геохимические ассоциации, выделенные по результатам факторного анализа, и связанные с ними минералы в соответствии с предполагаемыми стадиями оруденения

| Геохимическая ассоциация | Минералы                  | Порфиновый этап |  | Эпитептермальный этап |  | Тип минерализации                     |
|--------------------------|---------------------------|-----------------|--|-----------------------|--|---------------------------------------|
| F4<br>Fe(MnAu)           | пирит                     |                 |  |                       |  | Au-порфировая пиритовая               |
| F6<br>Mo(Cu)             | халькопирит, молибденит   |                 |  |                       |  | Cu-Mo-порфировая                      |
| F5<br>BiCu(Se)           | борнит, халькопирит       |                 |  |                       |  | Борнитовая                            |
| F2<br>SbAs(CuSe)         | блеклые руды              |                 |  |                       |  | Блеклорудная                          |
| F1<br>ZnPbCdMnAg(Au)     | сфалерит, галенит         |                 |  |                       |  | Субэпитептермальная полиметаллическая |
| F3<br>TeAuSe(Ag)         | (борнит, пирит, сфалерит) |                 |  |                       |  | Эпитептермальная Au-теллуридная       |

ZnPbCdMnAg(Au) и TeAuSe(Ag), выделенными по значениям факторов F1 и F3. Первая ассоциация по составу и устойчивой корреляции значений факторов с содержанием сфалерита и галенита соответствует субэпитермальной серебро-полиметаллической минерализации, вторая — золото-серебряному оруденению типа «интермидиэит салфидейшн». Положительная корреляция между значениями фактора F3 с содержанием пирита, сфалерита и борнита при отсутствии в документации сведений о редких минералах золота и серебра в связи с невозможностью их полевой визуальной диагностики косвенно свидетельствует только о пространственном наложении золото-серебряной минерализации на рудоносные образования порфировой и субэпитермальной стадий рудоотложения. Однако состав ассоциации полностью согласуется с результатами тонких минералогических исследований, на основании которых выделен тесный парагенезис низкопробного самородного золота с гесситом [Нагорная, 2013].

Значения факторов, средневзвешенные на длину скважин, использованы для построения схемы зональности Находкинского рудного поля в плане.

По распределению геохимических ассоциаций в строении Находкинского рудного поля наблюдается отчетливая концентрическая зональность (рис. 1, А).

Геохимическая структура рудного поля имеет форму подковы, внутренняя часть которой является фоновой. В аномальном поле, обрамляющем безрудное пространство, внутренняя зона сформирована ассоциациями рудных элементов, которые относятся к продуктивным стадиям Cu–Mo-порфинового этапа развития ПЭС, а внешняя зона образована геохими-

ческой ассоциацией, соответствующей Au-пиритовой минерализации.

Ассоциации, отвечающие рудоотложению переходного и эпитермального этапов развития, в большей степени тяготеют к внешней зоне, хотя часто наложены на внутреннюю, особенно в южной части рудного поля.

Наилучшим образом зональные взаимоотношения между ассоциациями главных типов рудной минерализации, указывающие на приуроченность эпитермальной минерализации к внешней, «пиритовой» оболочке, проявляются при построении изолиний мультипликативного показателя  $AuAgTe/CuMoBiSe \cdot 1000$ , в числитель которого вошли элементы эпитермального этапа, а в знаменатель — порфирового (рис. 1, Б).

Высокие значения этого показателя, связанные с развитием благороднометалльной эпитермальной минерализации, характерны для южной части рудного поля (месторождение Весеннее, юг участка Прямой) и затухают к северу, где доминирует порфировое оруденение (богатый медный штокверк участка III Весенний).

В западной части подковообразной структуры выделяется наиболее обширная область высоких значений мультипликативного показателя, что связано с преобладающим развитием субэпитермальной полиметаллической и эпитермальной золото-серебряной минерализации месторождения Весеннее. Меднопорфировое оруденение в этой части рудного поля недавно обнаружено по результатам бурения на глубине ~200 м от поверхности.

На фоне общей концентрической зональности в

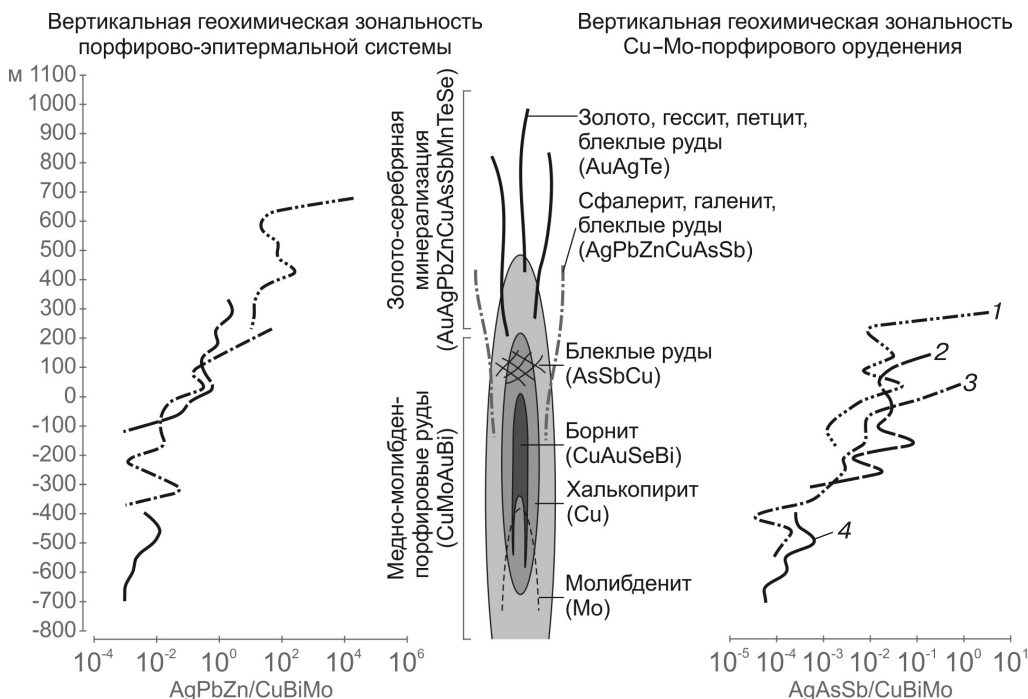
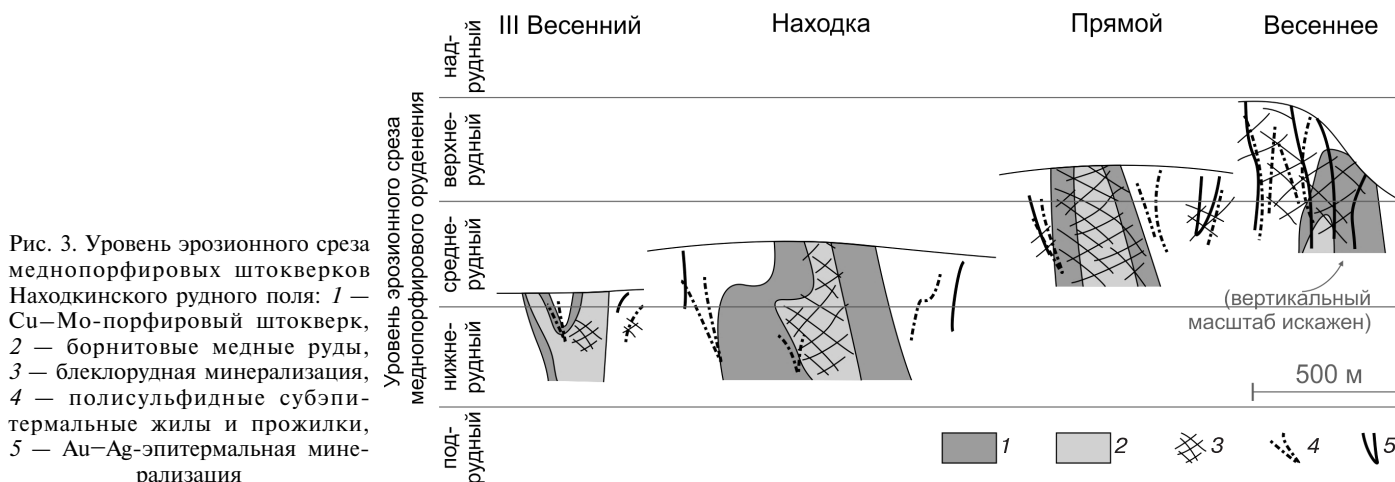


Рис. 2. Изменение значений показателей вертикальной геохимической зональности с глубиной на участках Находкинского рудного поля (приведена условная шкала глубины): 1 — Весеннее, 2 — Прямой, 3 — Находка, 4 — III Весенний

строении геохимического поля, в целом соответствующей классическим схемам рудно-метасоматической зональности ПЭС [Lowell, Guilbert, 1970], следует отметить некоторые особенности, вытекающие из изучения конкретного объекта. К их числу прежде всего относятся выявленные отличия в строении западной и восточной частей аномального поля. Как отмечалось выше, в составе первой преобладают ассоциации эпитермального этапа развития ПЭС и высокие значения мультипликативного показателя зональности, во второй — ассоциации Cu–Mo-порфинового этапа и низкие значения мультипликативного показателя



зональности. Причиной этого может служить не только наблюдаемая латеральная зональность аномального поля, но и разный уровень эрозионного среза, связанный с вертикальными пострудными движениями отдельных блоков.

Исследование вертикальной геохимической зональности выполнено по опорным разрезам на всех участках Находкинского рудного поля. Для определения последовательности отложения рудных элементов и выявления критериев оценки уровня эрозионного среза оруденения для всех опорных разведочных профилей рассчитано средневзвешенное содержание 14 рудных элементов на интервалы 50 м по глубине.

На основе результатов обработки по программе исследования зональности НЮ-2 в соответствии с методикой, разработанной на кафедре геохимии геологического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова [Соловов и др., 1990], установлены два показателя зональности третьего порядка, монотонно убывающие с глубиной:  $v_1 = \text{AgPbZn/CuBiMo}$  и  $v_2 = \text{AgAsSb/CuBiMo}$ .

Показатель  $\text{AgPbZn/CuBiMo}$  применим для оценки уровня эрозионного среза порфирово-эпитеpмальной системы в целом. Геохимическая ассоциация, представленная в числителе дроби, соотносится с составом субэпитеpмальных и золото-серебряных эпитеpмальных руд, развитых на флангах и/или (как на месторождении Весеннее) гипсометрически выше меднопорфирового штокверка, ключевые рудные элементы которого представлены в знаменателе.

Для прогноза среза собственно меднопорфирового штокверка автор предлагает использовать показатель  $\text{AgAsSb/CuBiMo}$ , в числителе которого фигурируют элементы блеклорудной ассоциации, пространственно приуроченной к верхним частям Cu—Mo-порфировых штокверков.

На рис. 2 представлены графики изменения значений этих показателей по типовым разрезам через

участки НРП, соотнесенные с построенной автором обобщенной формализованной моделью рудной минерализации объектов БМЗ.

Значения показателя  $\text{AgPbZn/CuBiMo}$  изменяются в пределах 8 порядков. Минимальные значения установлены для участка III Весенний (от  $n \cdot 10^{-3}$  до  $n \cdot 10^{-2}$ ), где полиметаллическая и Au—Ag-минерализация наименее развиты. Диапазон средних значений ( $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^1$ ) отмечен на объектах Находка и Прямой, где геохимические ассоциации поздних стадий приурочены к фланговым зонам. Максимальные значения показателя ( $n \cdot 10^1 - n \cdot 10^4$ ) получены для золото-серебряного месторождения Весеннее.

Значения показателя  $\text{AgAsSb/CuBiMo}$  варьируют от  $n \cdot 10^{-5}$  до  $n \cdot 10^1$ , причем порядок участков при ранжировании остается тем же: минимальные значения ( $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-4}$ ) характерны для рудного тела III Весенний, где слабее всего проявлена As—Sb-минерализация; далее следует штокверк участка Находка ( $n \cdot 10^{-5} - n \cdot 10^{-1}$ ), где блеклые руды пространственно тяготеют к борнитовым ядрам. Специфичность участка Прямой ( $n \cdot 10^{-4} - n \cdot 10^{-1}$ ) и особенно месторождения Весеннее ( $n \cdot 10^{-3} - n \cdot 10^1$ ) заключается в том, что здесь минералы ряда теннантит—тетраэдрит присутствуют не только в контуре Cu—Mo-порфирового штокверка, но широко представлены и в субэпитеpмальных и эпитеpмальных жильно-прожилковых зонах.

**Заключение.** В метрике меднопорфирового оруденения уровень эрозионного среза объектов можно оценить следующим образом (рис. 3). Месторождение Весеннее характеризуется верхнерудным уровнем среза, эпитеpмальная минерализация сохранилась здесь наиболее полно, и на глубине прогнозируется существенный объем меднопорфировых руд. Верхне-среднерудный срез представлен на участке Прямой. Далее в этом ряду следует штокверк участка Находка, эпитеpмальное и субэпитеpмальное оруденение которого было существенно сэродировано, в настоящее время на участках фиксируются лишь реликты

этих стадий. Наименее сохранилась порфирово-эпитермальная система в районе проявления III Весенний, эрозионный срез которого соответствует нижнерудному: здесь не только практически не со-

хранились признаки эпитермальной и переходной минерализации, но и меднопорфировые руды, судя по сужению рудных столбов на глубоких уровнях бурения, будут резко выклиниваться с глубиной.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бакшеев И.А., Николаев Ю.Н., Прокофьев В.Ю.* и др. Золото-молибден-медно-порфирово-эпитермальная система Баимской рудной зоны, Западная Чукотка // Металлогения древних и современных океанов-2014. Двадцать лет на передовых рубежах геологии месторождений полезных ископаемых. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2014. С. 108–112.

*Боровиков В.П.* Популярное введение в современный анализ данных в системе STATISTICA: Учеб. пособие для вузов. М.: Горячая линия — Телеком, 2013.

*Волков А.В., Савва Н.Е., Сидоров А.А.* и др. Закономерности размещения и условия формирования Au-содержащих Cu–Mo-порфировых месторождений Северо-Востока России // Геология рудных месторождений. 2006. Т. 48, № 6. С. 512–539.

*Котова М.С., Нагорная Е.В., Аносова М.О.* и др. Датирование метасоматического процесса и рудоносных гранитоидов медно-порфировых месторождений Находкинского рудного поля (Западная Чукотка) // Геохронометрические

изотопные системы, методы их изучения, хронология геологических процессов: Мат-лы V Росс. конф. по изотопной геохронологии. М.: ИГЕМ РАН, 2012. С. 181–184.

*Нагорная Е.В.* Минералогия и зональность молибден-медно-порфирового рудного поля Находка, Чукотка: Автореф. канд. дисс. М., 2013.

*Соловов А.П., Архипов А.Я., Бугров В.А.* и др. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. М.: Недра, 1990.

*Читалин А.Ф., Усенко В.В., Фомичев Е.В.* Баимская рудная зона — кластер крупных месторождений цветных и драгоценных металлов на западе Чукотского АО // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2013. № 6. С. 68–73.

*Lowell J.D., Guilbert J.M.* Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits // Econ. Geol. 1970. Vol. 65. P. 373–408.

*Sillitoe R.H.* Porphyry copper systems // Econ. Geol. 2010. Vol. 105. P. 3–41.

Поступила в редакцию  
10.11.2014