

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ПРОГНОЗ МЕДНОКОЛЧЕДАНЫХ РУДНЫХ УЗЛОВ В КОЛЛИЗИОННОЙ ЗОНЕ ГЛАВНОГО УРАЛЬСКОГО РАЗЛОМА (ГУР)

(в порядке обсуждения)

Г. И. Страшненко

Проведена ревизия известных рудоносных узлов медноколчеданных месторождений Урала, сделан анализ их распределения по простиранию и удалению от фронтальной линии коллизионной зоны. Разработана двумерная математическая модель распределения медноколчеданных месторождений в коллизионной зоне, адекватно описывающая их местоположение и масштаб, а также обладающая прогностическим потенциалом на выделение новых потенциально рудоносных узлов. Проведен металлогенический анализ рудных узлов, выделенных с помощью математической модели. Составлена прогнозная карта на медноколчеданное оруденение и рассчитан металлогенический потенциал рудных узлов и коллизионной зоны в целом.

Ключевые слова: медноколчеданные месторождения; математическая модель; рудоносные узлы; прогнозные карты медноколчеданных месторождений; коллизионная зона.

Цель и основные задачи исследования.

Проведенные исследования преследовали цель ревизии известных и выделения новых потенциально рудоносных узлов, перспективных для открытия медноколчеданных месторождений. Для достижения заданной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

– проведен анализ распределения медноколчеданных месторождений по протяженности и вкрест протяженности коллизионной зоны;

– разработана двумерная математическая модель распределения медноколчеданных месторождений в коллизионной зоне, адекватно описывающая местоположение и масштаб известных месторождений, а также обладающая прогностическим потенциалом на выделение новых потенциально рудоносных узлов;

– составлена прогнозная карта на медноколчеданное оруденение и рассчитан металлогенический потенциал рудных узлов и коллизионной зоны в целом.

Пространственные и геологические границы объекта исследования. Для исследования выбран сегмент коллизионной зоны, имеющий субмеридиональное простирание, заключенный между 48 и 64° с. ш. С запада коллизионная зона ограничена фронтальной линией (ФЛ), представляющей линию разграничения океанического комплекса на востоке и континентального комплекса окраины Восточно-Европейской плиты на западе. Тыловая

линия коллизионной зоны ГУР условно проведена по оси Тагило-Магнитогорского прогиба. В местах сужения зона включает полностью эту структуру.

Фактографическая основа исследования. В качестве геологической основы проведенных исследований использованы комплексная металлогеническая карта Урала масштаба 1 : 500 000 и объяснительная записка к ней, составленные коллективом авторов под руководством главных редакторов П. В. Нечаева и А. В. Пуркина [1]. В указанных ранее границах на карте показано 304 медноколчеданных объекта, из которых согласно принятой авторами карты классификации рудопроявлений – 209, месторождений – 95, из них мелких – 63, средних – 25, крупных – 6, довольно крупных – 1 (Учалинское). При этом количественные границы классов крупности объектов авторы не приводят.

За 35 лет, прошедших с момента издания металлогенической карты, на Урале проведены многочисленные научно-исследовательские и геологоразведочные работы, в результате которых открыты новые месторождения и значительно увеличены запасы руды на многих известных месторождениях. В сконцентрированном виде произошедшие изменения учтены в данном исследовании на основе Государственного баланса месторождений меди Российской Федерации, а также монографии «Медноколчеданные месторождения Урала» [2].

Анализ пространственного распределения медноколчеданных месторождений в коллизиионной зоне ГУР. В качестве количественной меры крупности месторождения введем понятие «металлогенический потенциал месторождения» G^* , равный десятичному логарифму значения запасов руды на данном месторождении, тыс. т:

$$G^* = \log \sum P. \quad (1)$$

Сохраним принятое в [1] пятичленное деление по крупности медноколчеданных объектов, переименовав при этом класс месторождений «довольно крупные» в «уникальные».

Вынесем все рудные объекты, известные в пределах коллизиионной зоны, на график в координатах: географическая широта – металлогенический потенциал объекта G^* . Координата определяет положение рудного объекта в коллизиионной зоне по ее протяженности. Географические координаты объектов здесь и ниже по тексту определялись по металлогенической карте Урала масштаба 1 : 500 000 [1]. Из анализа полученного графика (рис. 1) зафиксируем следующие особенности распреде-

ления известных рудных объектов по протяженности коллизиионной зоны ГУР:

1. Максимальным потенциалом, равным 6, обладает Гайское месторождение;

2. К югу и северу от Гайского месторождения наблюдается постепенное снижение потенциала месторождений;

3. Месторождения по протяженности коллизиионной зоны распределены не случайно, а образуют кучности, которые исследователями медноколчеданных месторождений рассматриваются как рудоносные зоны, рудные узлы и рудные поля [2];

4. Месторождения-лидеры в пределах рудных узлов обычно сопровождаются свитой более мелких месторождений и проявлений;

5. Рудопроявления и мелкие месторождения почти сплошь закрывают ось ρ , образуя металлогенический фон.

Подобным образом проанализируем распределение рудных объектов вкостр протяженности коллизиионной зоны. Вынесем все рудные объекты на график в координатах: угловое удаление объекта от ФЛ коллизиионной зоны – металлогенический потенциал объекта G^* .

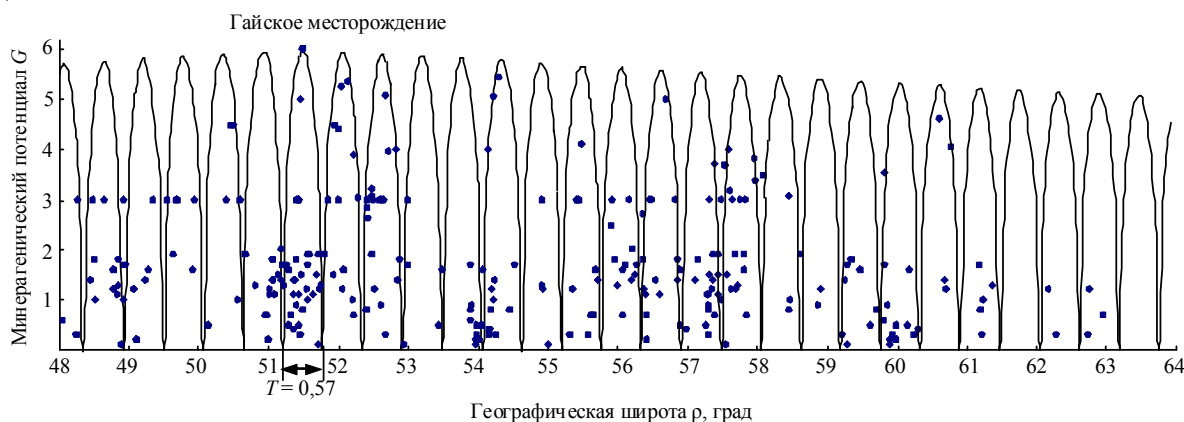


Рис. 1. Распределение медноколчеданных месторождений и рудопроявлений по протяженности коллизиионной зоны ГУР

При этом

$$\delta_i = \varphi_i - \varphi_0, \quad (2)$$

где 1,0 – географическая долгота соответственно i -го объекта и расположенной на той же широте, что и i -й объект, точки на ФЛ (рис. 2).

ФЛ коллизиионной зоны выбрана в качестве основного элемента ее структуры для отсчета координаты δ , поскольку она является границей раздела континентальной коры и коры

океанического типа, продуцирующей рудогенерирующие вулканоплутонические комплексы пород.

Для месторождений, расположенных к востоку от ФЛ, $\delta > 0$, к западу (в пределах аллохтонов) – $\delta < 0$. Анализируя построенный график (рис. 3), зафиксируем следующие особенности поперечного распределения рудных объектов:

– распределение образует два разноамп-

литудных максимума; максимум $G^* = 6$ (Гайское месторождение) расположен к востоку от ФЛ на расстоянии $0,37^\circ$; меньший максимум $G^* = 5$ (суммарно Комсомольское и Блявинское месторождения) расположен к западу от ФЛ на расстоянии $-0,45^\circ$ и в основном объединяет рудные объекты в пределах Сакмарского аллохтона; расстояние между максимумами

равно $0,82^\circ$;

– крупные месторождения размещаются вблизи точки уникального Гайского месторождения, на расстоянии до $0,23^\circ$ от него; в этой же полосе общей шириной $0,46^\circ$ располагаются все средние месторождения, за исключением одного, а также большинство мелких месторождений и рудопроявлений (рис. 3);

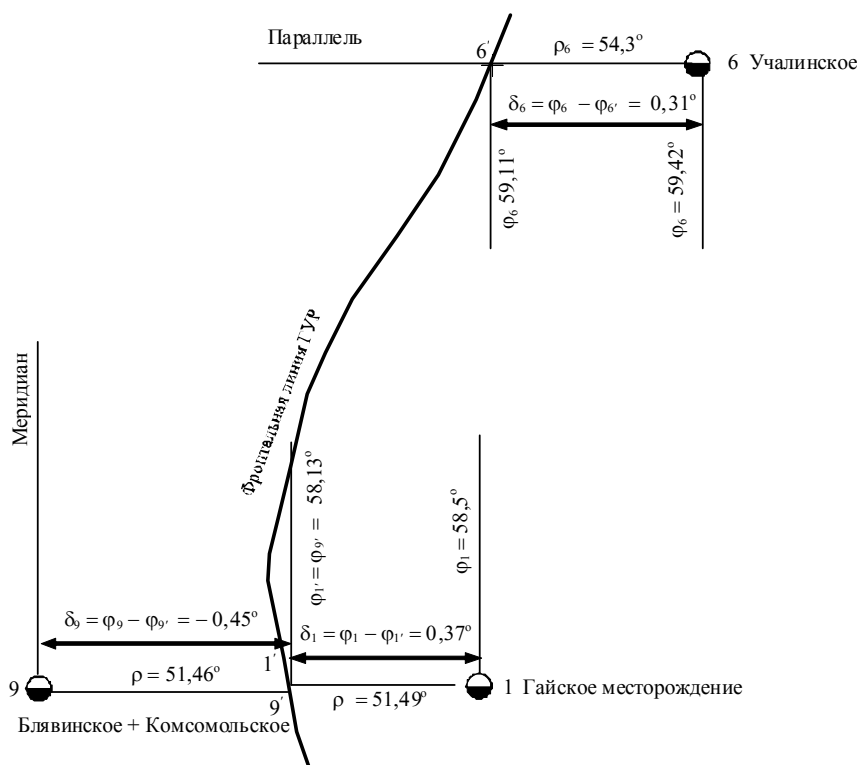


Рис. 2. Схема определения углового удаления от фронтальной линии коллизионной зоны ГУР (δ). Номера месторождений на схеме соответствуют их номерам в табл. 1

– уникальные и крупные месторождения сопровождаются свитой более мелких месторождений и рудопроявлениями.

Построение геолого-математической модели распределения медноколчеданных месторождений в коллизионной зоне ГУР.

Искомая модель должна удовлетворять следующим требованиям:

– выражаться математической формулой, описывающей зафиксированные ранее особенности пространственного размещения и изменения масштабов колчеданной минерализации;

– быть непрерывной функцией географических координат, заданной на множестве точек, образующих область распространения рудогенерирующего комплекса пород; при

этом географические координаты должны иметь конкретное геологическое содержание; константы, входящие в формулу, должны быть определены на основе геологоразведочных данных;

– обладать прогностическим потенциалом, позволяющим выявлять новые потенциально рудоносные объекты и выбирать среди множества уже известных мелких месторождений и рудопроявлений те, которые заслуживают более детального изучения.

В основу построения математической модели положена выдвинутая автором рабочая гипотеза, согласно которой распределение медноколчеданных месторождений в коллизионной зоне ГУР подчинено рудно-магматическим ритмам, которые могут быть описаны

математически. Право на существование этой гипотезы на качественном уровне частично подтверждается фактографическим материалом, обобщенным на рис. 1, 3.

Если выдвинутая рабочая гипотеза верна, то возможное максимальное значение металлогенического потенциала в i -й точке коллизионной зоны G_i должно быть функцией географической широты ρ_i и углового расстояния

этой точки от ФЛ коллизионной зоны δ_i . Геологическое содержание географических координат раскрыто ранее при описании эмпирического распределения медноколчеданных объектов в коллизионной зоне. Запишем искомую функцию в общем виде:

$$G_i = \begin{cases} f(\rho_i; \delta_i) & \text{для } i \in T \\ -\infty & \text{для } i \notin T \end{cases}, \quad (3)$$

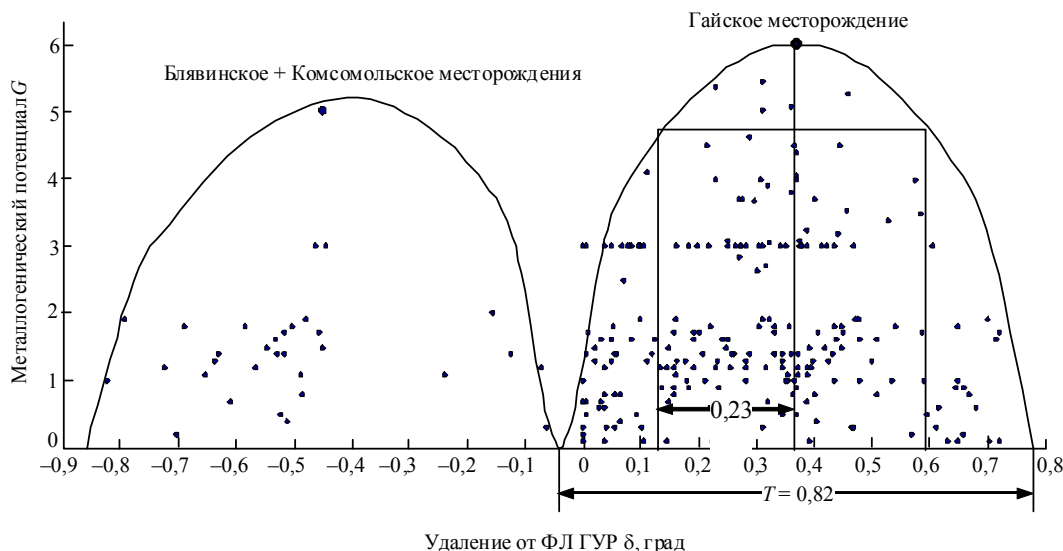


Рис. 3. Распределение медноколчеданных месторождений и рудопроявлений вкост протяженности коллизионной зоны ГУР:
 T – период моделирующей функции

где T – область определения функции, представляющая поле распространения формаций ордовик-девонского океанического вулканогенного комплекса.

функций, одна из которых описывает распределение месторождений по протяженности, а другая – по ширине коллизионной зоны:

Представим (3) в виде произведения двух

$$G_i = Q(\rho)R(\delta_i). \quad (4)$$

Таблица 1

Координаты и металлогенический потенциал уникальных и крупных медноколчеданных месторождений коллизионной зоны ГУР

Месторождение	ρ_i	$ \rho_i - \rho_1 $	δ_i	G_i^*
Гайское	51,49	0	0,37	6,00
Им. 50-летия Октября	50,47	1,02	0,45	>4,7
Юбилейное	52,13	0,64	0,23	5,35
Подольское	52,05	0,56	0,46	5,24
Сибайское	52,69	1,2	0,52	5,07
Учалинское	54,3	2,81	0,31	5,43
Озерное	54,22	2,73	0,354	5,01
Дегтярское	56,7	5,21	0,311	>4,81
Блявинское и Комсомольское	51,46	0,03	-0,45	5

Найдем выражение для каждой из функций, входящих в (4). В соответствии со свой-

ствами 1–5, сформулированными ранее, выражение для $Q(\rho)$ может быть представлено

функцией затухающего колебания вида [3]:

$$y = a \exp(-bx) \cos(\omega x + \varphi_0), \quad (5)$$

где a – максимальная амплитуда колебаний; b – логарифмический декремент затухания колебаний (константа, определяющая темп затухания колебаний); ω – круговая частота колебаний; φ – сдвиг по фазе.

Изменим выражение (5) применительно к нашей задаче. Сначала определим входящие в него константы. Для этого воспользуемся параметрами уникальных и крупных месторождений (табл. 1). Представим переменную x в выражении (5) в виде:

$$x = |\rho - 51,49|, \quad (6)$$

где 51,49 – географическая широта уникального Гайского месторождения.

В новом виде переменная представляет собой расстояние от уникального Гайского месторождения, измеряемое в градусах по протяженности коллизионной зоны. Подставив в выражение (5) новую переменную (6) и параметры Гайского месторождения ($y = G^* = 6$; $\rho = 51,49$) находим $a = 6$. При этом $\varphi_0 = 0$.

Для определения константы b в выражении (5), определяющей темп затухания рудности по удалению от Гайского месторождения, воспользуемся координатами удаленных друг от друга на $2,8^\circ$ по широте и приблизительно равноудаленных от ФЛ месторождений Гайского (51,49; 0,37) и Учалинского (54,3; 0,31).

Чтобы определить возможное максимальное значение металлогенического потенциала в Учалинском рудном узле по отношению к металлогеническому потенциалу Учалинского месторождения, введем поправку на разность его удаления и удаления Гайского месторождения от ФЛ:

$$G_6^0 = G_6^* \exp(\delta_1 - \delta_6) = 5,43 \exp(0,06) = 5,77. \quad (7)$$

С учетом вычисленной поправки искомый параметр b [3]:

$$b = \frac{\ln(G_1 / G_6^0)}{\rho_6 - \rho_1} = \frac{\ln(6 / 5,77)}{2,81} = 0,014. \quad (8)$$

Для перевода отрицательных значений косинуса в положительную полуплоскость умножим выражение (5) на коэффициент $(-1)^k$, где k – номер максимума металлогенического потенциала, отсчитываемый к северу и к югу от Гайского месторождения при условии, что номер Гайского месторождения равен 0.

Круговая частота в выражении (5) равна:

$$\omega = \pi/T. \quad (9)$$

Значение периода косинусоидальной функции T , по данным табл. 2, заключено в интервале $0,56 < T < 0,64$. Середина этого интервала равна $T_{cp} = 0,6$. Неизвестное значение периода, с наилучшим приближением описывающее действительное распределение уникальных и крупных месторождений по протяженности коллизионной зоны, должно удовлетворять условию:

$$\frac{d}{dT} \sum [(\rho_i - \rho_1)] \sum [(\rho_i - \rho_1) k_i T]^2 = 0. \quad (10)$$

Содержание коэффициента k определено ранее. С округлением до ближайшего целого числа он равен $(\rho_i - \rho_1)/T_{cp}$.

Продифференцировав выражение (10) и подставив в полученное уравнение значения параметров месторождений из табл. 1, получим $T = 0,57^\circ$.

Подставив в (5) значения полученных констант, получим выражение для функции $Q(\rho)$. Для того чтобы расширить область возможного нахождения уникальных и крупных месторождений, тригонометрическую часть выражения подведем под квадратный корень. В окончательном виде функция $Q(\rho)$ будет иметь следующий вид:

$$Q(\rho) \leq 6 \exp(-0,014|\rho - 51,49|) \times \sqrt{(-1)^k \cos\left(\frac{180}{0,57}(\rho - 51,49)\right)}. \quad (11)$$

Знак «меньше или равно» использован в соответствии со свойством (4). График функции (11) нанесен на рис. 1. Можно видеть, что потенциалы уникальных и крупных месторождений, а также большинства средних и мелких месторождений удовлетворительно описы-

ваются выражением (11). Точки на рисунке, соответствующие рудным объектам, расположены под кривой $Q(\rho)$.

Подобным образом, используя выражение (5), найдем вид функции $R(\delta)$. Произведем замену переменной:

$$x = \delta - 0,37. \quad (12)$$

Новая переменная отражает удаление объектов от Гайского месторождения, измеряемое в градусах по ширине коллизийной зоны.

Логарифмический декремент затухания для поперечного рудного ритма найдем, используя параметры Гайского, Блявинского и Комсомольского месторождений (табл. 1). Сначала определим максимальное значение металлогенического потенциала в точке $\delta = -0,45$ на широте Гайского месторождения, используя поправку на разность широт:

$$G_9^0 = G_9^* \exp(\rho_1 - \rho_9) = 5 \exp(0,03) = 5,15. \quad (13)$$

Далее определяем значение параметра b :

$$b = \frac{\ln(G_1^* / G_9^*)}{(\delta_1 - \delta_9)^2} = \frac{\ln(6 / 5,15)}{0,37 - (-0,45)^2} = 0,227. \quad (14)$$

Период ритма равен алгебраической разности удалений Гайского, Блявинского и Комсомольского месторождений от ФЛ ($0,82^\circ$). Подставив полученные константы в выражение (5) и произведя над ним те же преобразования, что и в случае функции $Q(\rho)$, получим вид функции $R(\delta)$:

$$R(\delta) = \exp(-0,227(\delta - 0,37)^2) \times \sqrt{(-1)^k \cos\left(\frac{180}{0,82}(\delta - 0,37)\right)}. \quad (15)$$

График функции (14) при $a = 6$ нанесен на рис. 3. Можно видеть, что точки на рисунке, соответствующие рудным объектам, в абсолютном своем большинстве расположены под кривой $b R(\delta)$.

Подставив (11) и (14) в (4), получим выражение математической модели, описывающей распределение медноколчеданных мес-

торожений в коллизийной зоне ГУР:

$$G \leq 6 \exp(-0,014|\rho - 51,49|) \times \sqrt{(-1)^k \cos\left(\frac{180}{0,57}(\rho - 51,49)\right)} \times \exp(-0,227(\delta - 0,37)^2) \times \sqrt{(-1)^k \cos\left(\frac{180}{0,82}(\delta - 0,37)\right)}$$

для

$$48^\circ \leq \rho \leq 64^\circ;$$

$$0,86 \leq \delta \leq 0,78. \quad (16)$$

Адекватность полученной модели эмпирическим данным проверим на известных месторождениях, металлогенический потенциал которых оценен геологоразведочными работами (табл. 2). Из 31 разведанного месторождения (в табл. 2) 10 относятся к уникальным и крупным, 10 – к средним и 11 – к мелким. Для ряда средних и мелких месторождений, запасы которых автору неизвестны, в табл. 2 приведены границы класса крупности, к которому принадлежит то или иное месторождение. Математическая модель считается справедливой в отношении i -го месторождения, если разность его рассчитанного потенциала и потенциала, оцененного геологоразведочными работами, удовлетворяет следующему условию:

$$G_i^0 - G_i^* \geq 0. \quad (17)$$

Для j -го месторождения, потенциал которого задан границами интервала класса крупности ($a_j - b_j$), математическая модель считается справедливой, если рассчитанное значение потенциала превышает нижнюю границу этого интервала:

$$G_i^0 > a_i. \quad (18)$$

Анализ табл. 3 с использованием выше сформулированных критериев показывает:

- рассчитанные металлогенические потенциалы всех уникальных и крупных месторождений удовлетворяют критериям (13) и (14). Следовательно, погрешность модели по отношению к данному классу месторождений близка к нулю;

- из 10 средних месторождений рассчитанный металлогенический потенциал одного

месторождения (Ломовского) не удовлетворяет критерию (13); погрешность модели по отношению к данному классу месторождений равна 10 %;

– из 11 мелких месторождений рассчи-

танные потенциалы четырех месторождений (Чусовского, Новоежовского, Северо-Ольховского и Валенторского) не удовлетворяют критерию (16). Погрешность модели по отношению к данному классу месторождений равна 36,4 %.

Таблица 2

Рассчитанные G и оцененные геологоразведочными работами G^* металлогенические потенциалы медноколчеданных месторождений

Класс	Месторождение	ρ	δ	G_i^0	G^*
Уникальные и крупные	Им. 50-летия Октября	550,47	0,45	55,1	4,7–5,7
	Приорское	550,51	0,37	44,72	4,7–5,7
	Гайское	551,49	0,37	6,00	6,00
	Блявинское и Комсомольское	551,46	–0,45	5,15	5,00
	Подольское	552,05	0,46	55,72	5,25
	Юбилейное	552,13	0,23	55,34	5,35
	Сибайское	552,69	0,52	55,16	5,07
	Озерное	554,22	0,36	55,13	5,04
	Учалинское	554,3	0,32	55,76	5,43
Дегтярское	556,7	0,31	55,24	>4,8	
Средние	Бурибаевское	551,95	0,22	44,92	3,7–4,7
	Октябрьское	552,01	0,37	55,84	4,40
	Вишневское	552,23	0,42	44,58	3,89
	Камаганское	552,73	0,58	44,44	3,97
	Карабашское	555,48	0,11	44,24	3,7–4,7
	Ломовское	557,46	0,23	33,48	3,78
Класс	Месторождение	ρ	δ	G_i^0	G^*
Средние	Левихинское	57,59	0,31	4,18	>3,65
	Им. III Интернационала	57,95	0,36	3,87	>3,77
	Шемурское	60,62	0,29	5,12	4,60
	Тарньерское	60,78	0,32	4,05	4,04
Мелкие	Майское	52,29	0,32	3,22	3,04
	Бакр-Тау	52,41	0,27	3,39	2,83
	Таш-Тау	52,44	0,3	4,03	2,63
	Восточно-Семеновское	52,48	0,39	4,86	3,23
	Уваряж	52,49	0,25	4,77	3,07
	Чусовское	56,35	0,31	2,43	2,70
	Новоежовское	57,54	0,30	3,2	3,67
	Хабунинское	57,62	0,44	3,26	3,17
	Северо-Ольховское	57,98	0,53	3,02	3,37
	Кабанское	58,45	0,38	4,83	3,07
Валенторское	59,83	0,45	3,30	3,53	

Результаты проведенного анализа показывают, что разработанная математическая модель соответствует ранее сформулированным требованиям.

Для построения прогнозной карты по формуле (15) рассчитаем значение потенциала для сети точек в области задания этой функции (3). Шаг сети определим в $0,1 T$, по широте это составит $0,057^\circ$, по долготе – $0,082^\circ$.

Рудные узлы отождествляем с аномалиями металлогенического потенциала, выделен-

ными по изолинии $G = 3,7$, ограничивающей область вероятного нахождения средних месторождений. Внутри рудных узлов проведем эквипотенциальные линии 4,7 и 5,7, соответствующие границам областей вероятного нахождения крупных и уникальных месторождений. Построенная по приведенному ранее алгоритму прогнозная карта показана на рис. 4.

По отношению рудных узлов с безрудными геологическими образованиями выделяются следующие виды геологических обста-

НОВОК:

1. Рудные узлы, располагающиеся полностью в пределах рудогенерирующего вулканогенного комплекса;
2. Рудные узлы, в разной степени срезан-

ные тектоническими разломами, по которым породы рудоносных толщ контактируют с безрудными комплексами;

3. Рудные узлы, в разной степени уничтоженные интрузивными массивами.

Таблица 3

Металлогенические параметры рудных узлов и рассматриваемого сегмента коллизионной зоны в целом

Индекс рудного узла на карте	Название рудного узла	G^*	r	G_0	G_s	G_t	G_q	G_p
OS6		3,4	1	5,72	5,72	5,72	5,54	5,54
OS5		3,4	0,88	5,76	5,76	5,70	5,52	5,52
OS4		3,4	0,3	5,81	5,79	5,27	5,09	5,08
OS3		4,0	0,31	5,86	5,84	5,35	5,17	5,14
OS2	Приорский	5,25	0,57	5,90	5,9	5,66	5,48	5,09
OS1		—	0,82	5,95	4,7	3,8	3,62	3,62
WS1		—	0,02	5,11	4,0	2,3	2,12	2,12
O0	Гайский	6,0	0,83	6,00	6,0	6	6	—
W0	Блявинский	5,0	1	5,15	5,15	5,15	4,97	—
ON1	Юбилейный	5,65	1	5,95	5,95	5,95	5,77	5,15
ON2	Сибайский	5,22	1	5,90	5,9	5,9	5,72	5,55
ON3		3,7	0,84	5,86	5,86	5,78	5,6	5,59
ON4		3,4	0,56	5,81	5,7	5,45	5,27	5,26
ON5	Учалинский	5,58	1	5,76	5,76	5,76	5,58	0,00
ON6		3,4	0,6	5,72	5,72	5,5	5,32	5,31
ON7	Карабашский	4,4	0,03	5,67	5,51	4,62	4,44	3,38
ON8	Чусовской	3,74	0,32	5,63	5,56	5,07	4,89	4,89
ON9	Дегтярский	5,26	0,32	5,58	5,58	5,26	5,26	—
ON10	Калатинский	4,48	0,62	5,54	5,54	5,33	5,15	5,05
ON11	Левихинский	4,66	0,63	5,49	5,49	5,29	5,11	4,92
ON12		3,7	0,84	5,45	5,45	5,37	5,19	5,18
ON13		—	0,73	5,41	5,41	5,27	5,09	5,09
ON14		—	0,42	5,36	5,33	4,95	4,77	4,77
ON15	Валенторский	3,53	0,74	5,32	5,32	5,19	5,01	5,00
ON16	Шемурский	4,71	0,87	5,28	5,28	5,22	5,04	4,77
ON17		—	0,6	5,24	5,24	5,02	4,84	4,84
ON18		—	0,07	5,20	5,2	4,05	3,87	3,87
ON19		—	0,32	5,15	5,15	4,66	4,48	4,48
ON20		—	0,33	5,11	5,11	4,63	4,45	4,45
ON21		—	0,04	5,07	5,04	3,64	3,46	3,46

По рассматриваемому сегменту коллизионной зоны в целом:

R^0 (на момент времени 0)	7,13	13,55 млрд т
R^t (на данный момент времени)	6,92	8,29 млрд т
$R^d = R^0 - R^t$ (уничтожено в процессе коллизии и эрозии)	6,72	5,26 млрд т
R^q (сконцентрированная часть)	6,77	5,88 млрд т
R^* (реализовано в запасы)	6,42	2,64 млрд т
R^p (прогнозные ресурсы)	6,51	3,24 млрд т
В том числе R^p в пределах РФ	—	2,31 млрд т
Казахстана	—	0,93 млрд т

Оценка металлогенического потенциала рудных узлов. Выскажем предположение, что суммарный металлогенический потенциал рудного узла G_{Σ} с точностью до порядка равен его максимальному значению в эпицентре аномалии металлогенического потенциала G_0 . Суммарный металлогенический потен-

циал заданного сегмента коллизионной зоны на момент времени 0 завершения гидротермальной деятельности R_0 будет равен сумме потенциалов в эпицентральных точках всех выделенных рудных узлов:

$$R_0 = \log \sum 10^{G_0}. \quad (18)$$

Последовавшая за этим коллизия тектонических плит привела к тектоническому сжатию и частичной эрозии рудовмещающего

комплекса. В результате часть начального потенциала была уничтожена. На современном эрозионном срезе большинство рудных

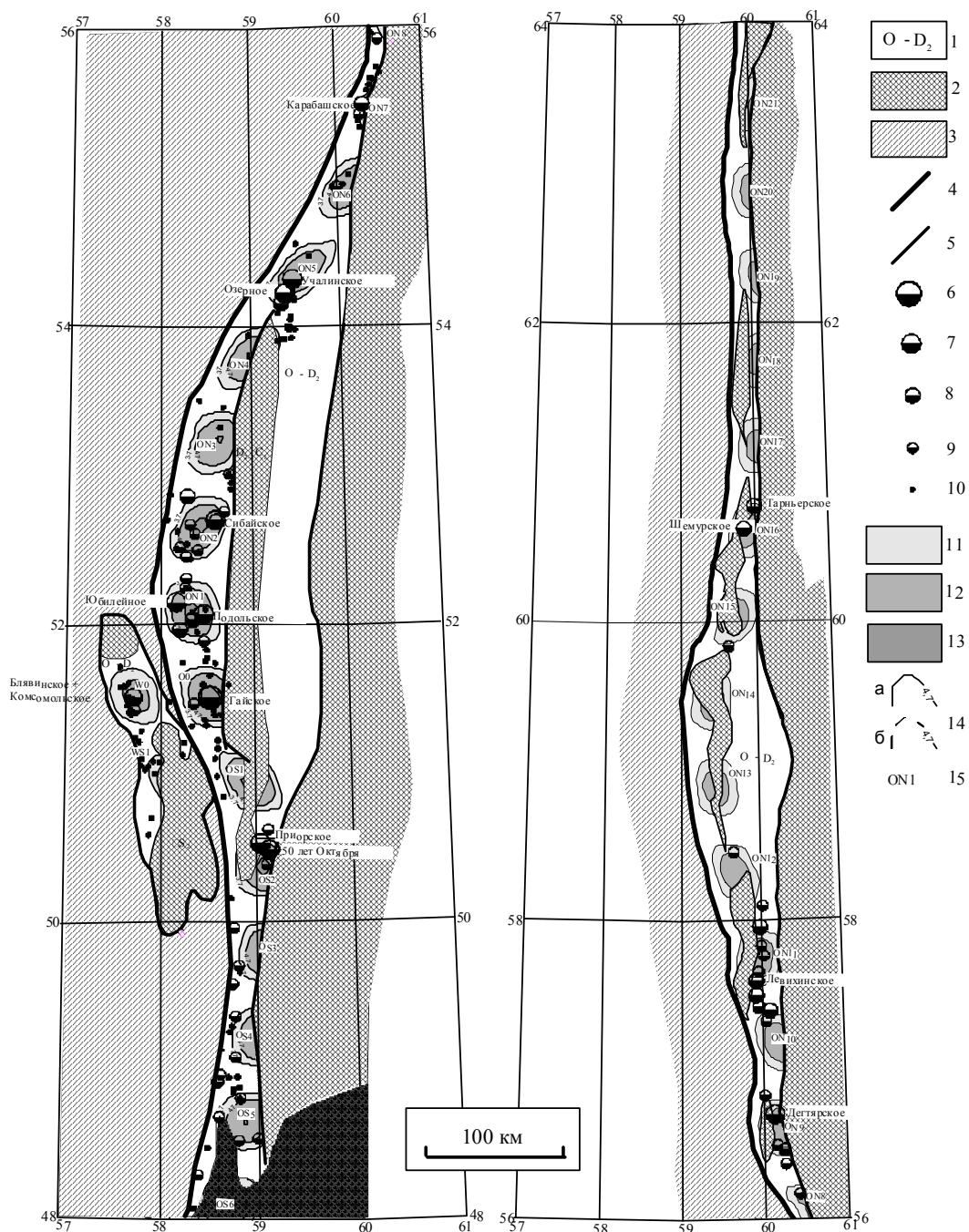


Рис. 4. Карта прогноза медноколчеданных рудных узлов в коллизийной зоне ГУР:

1 – океанический рудогенерирующий вулканогенный комплекс ордовика-среднего девона; 2 – безрудные формации, сформировавшиеся на океанической коре и коре переходного типа; 3 – геологические формации континентальной окраины Восточно-Европейской плиты; 4 – фронтальная линия коллизийной зоны ГУР; 5 – разломы; 6–10 – медноколчеданные месторождения: 6 – уникальные, 7 – крупные, 8 – средние, 9 – мелкие, 10 – рудопроявления; 11–13 – части аномалий металлогенического потенциала (рудных узлов), перспективные для поиска месторождений: 11 – средних, 12 – крупных, 13 – уникальных; 14 – эквипотенциальные линии в рудогенерирующем комплексе: а – выходящем на дневную поверхность, б – перекрытом надрудными образованиями; 15 – индексы рудных узлов

узлов реализованы в ранее названных геологических обстановках 2 и 3. Для данных уз-

лов введем понятие квазиэпицентра в точке с максимальным значением расчетного потен-

циала G_s . К величине потенциала G_s введем поправку на сохранность рудных узлов r , равную отношению площадей рудного узла на данный момент времени с учетом геологической обстановки и на момент времени 0. Тогда металлогенический потенциал рудного узла на данный момент времени G_t будет равен

$$G_t = \log(r \cdot 10^{G_s}) = G_s + \log r. \quad (19)$$

Суммарный металлогенический потенциал заданного сегмента коллизионной зоны на данный момент R_t будет равен

$$R_t = \log \sum 10^{G_t}. \quad (20)$$

Часть начального суммарного потенциала рассматриваемого сегмента коллизионной зоны, уничтоженного в процессе коллизии, поздних магматических процессов и эрозии R^d ,

$$R^d = \log(10^{R^0} - 10^{R^t}). \quad (21)$$

Далее произведем оценку части потенциала G_p , которая может концентрироваться в виде промышленно значимых залежей G_q . Для этого введем понятие коэффициента концентрации q . Величину коэффициента q вычислим на примере достаточно изученного Учалинского узла, приняв допущение, что все крупные месторождения в этом узле выявлены. Из табл. 3 следует

$$q = \sum 10^{G_i^*} / 10^{G_0} = 10^{(5,58-5,76)} = 0,66.$$

Тогда

$$G_q = \log(q \cdot 10^{G_t}) = G_t + \log 0,66. \quad (22)$$

Суммарная, нереализованная в промышленные запасы часть сконцентрированного металлогенического потенциала рудного узла, которая может быть интерпретирована как прогнозные ресурсы G_p ,

$$G_p = \log(10^{G_q} - \sum 10^{G_i^*}). \quad (23)$$

Соответственно сконцентрированный металлогенический потенциал рассматриваемого сегмента коллизионной зоны в целом R^q и его часть, принимаемая в качестве прогнозных ресурсов, R^p

$$R^q = \log \sum 10^{G_q}, \quad (24)$$

$$R^p = \log \sum 10^{G_p}, \quad (25)$$

Металлогенические параметры рудных узлов и рассматриваемого сегмента коллизионной зоны в целом, рассчитанные по формулам (15)–(22), сведены в табл. 3.

Суммарный металлогенический потенциал заданного сегмента коллизионной зоны R^0 на момент времени 0 равен 7,13, что составляет 13,55 млрд т руды. Сконцентрированный потенциал R^q , уже частью реализованный в запасы R^* , равен 6,77, или 5,88 млрд т руды. Разность этих величин, составляющая 7,67 млрд т, частично уничтожена тектономагматическими процессами и эрозией (5,26 млрд т), частично рассеяна в рудовмещающей толще (2,41 млрд т). Нереализованная в запасы часть сконцентрированного потенциала R^p , которая может рассматриваться как прогнозные ресурсы категории P_3 , равна 3,24 млрд т, что на 22,7 % превышает накопленные запасы за все время геологического изучения рассматриваемого сегмента коллизионной зоны.

На выделенных рудных узлах рекомендуется проведение крупномасштабных прогнозно-металлогенических исследований на геологической основе масштаба 1 : 200 000–1 : 50 000. Основной задачей этих исследований должны стать выделение рудогенерирующих вулканогенных формаций субаквальной стадии развития энсиматических островных дуг и реконструкция локальных палеовулканических структур или их сохранившихся фрагментов, в пределах которых с наибольшей вероятностью получения положительного результата могли быть локализованы поисковые работы. В рамках прогнозно-металлогенических работ следует ревизовать рудопроявления и мелкие месторождения в пределах рудных узлов, оконтуренных эквипотенциальной линией $G = 3,7$.

Технология построения геолого-математических моделей, подобная описанной ранее, успешно применена автором при прогнозной оценке Южного и Среднего Урала на особо чистый кварц [4]. Поисково-оценочными работами, проведенными на потенциально перспективных площадях, выделенных с помощью подобной модели, выявлены объекты с про-

мышленными запасами особо чистого кварца [5].

Представляет практический интерес использование предложенной технологии геолого-математического моделирования для ана-

лиза пространственного размещения и прогноза месторождений скарново-железорудной формации в Валерьяновском вулканическом поясе, перекрытом чехлом мезозойско-кайнозойских отложений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комплексная металлогеническая карта Урала / гл. ред. А. В. Пуркин. Свердловск, 1975.
2. Медноколчеданные месторождения Урала. Условия формирования / В. А. Прокин [и др.]. Екатеринбург: УрО РАН, 1992.
3. Бронштейн И. Н., Семендяев К. А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. ФМ, 1964. С. 95-96.
4. Страшненко Г. И., Собянин В. А. Прогнозная оценка Южного и Среднего Урала на особо чистый кварц. М.: Росгеолфонд, 1982.
5. Страшненко Г. И., Васильев В. Ф. Поиски и оценка объектов с особо чистым кварцевым сырьем в обрамлении Уфалейского и Верх-Исетского метаморфических комплексов Урала с подсчетом запасов по состоянию на 01.07.08 г. М.: Росгеолфонд, 2008.

Поступила в редакцию 11 апреля 2013 г.

Страшненко Григорий Иванович – кандидат геолого-минералогических наук, Уральский государственный горный университет. 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30, Уральский государственный горный университет.