

УДК 622.271.5

С.А. Ермаков, А.М. Бураков, Н.С. Батугина

**ОБОСНОВАНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПОДОБИЯ
ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПЛОСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Семинар № 2

Ранее выполненными в ИГДС СО РАН исследованиями [1] установлено, что месторождения кластерного типа к которым, в частности, относится уникальное россыпное месторождение золота р. Б. Куранах (Алданский район РС (Я)), характеризуются высокой селективностью распределения запасов и резким изменением содержания полезного компонента на локальных участках месторождения.

Выполненные расчеты и обработка данных массива опробования способами двумерной линейной интерполяции на специальную пространственную сетку, интегрирования на сетке по заданным поперечным сечениям, дополнительного интегрирования вдоль продольной оси показали, что во многих характерных случаях более половины, или близкое к этому количество запасов золота заключено примерно в одной пятой общего объема песков (конкретные цифры по участкам могут иметь некоторый разброс в ту или другую сторону). Кроме этого, распределение золота характеризуется резким изменением содержания в широком диапазоне (от 0,07 до 2 г/м³) и значительным (в 2-5 раз) изменением размеров зон концентрации металла.

Такие закономерности распределения рудных элементов в объеме месторождения (или рудной залежи) определяются геолого-геохимическими условиями их концентрации и рассеяния в

процессе рудообразования и зависят, в частности, от наличия и близости коренных источников россыпеобразования.

С целью исследования закономерности распределения рудных элементов в объеме месторождения (или рудной залежи) были разработаны элементы модели строения сложноструктурных месторождений:

- способы задания геометрических координат продольных и поперечных сечений рудного тела;
- методика описания контура рудного тела, реализуемая путем обхода контура по часовой стрелке;
- способ задания качественных характеристик областей селективной отработки рудного тела;
- методика поблочной и послонной блокировки рудного тела по заданным координатам послонной отработки.

Для установления возможных вариантов геотехнологического воздействия на массив полезного ископаемого было выполнено исследование структуры запасов по месторождению. Исследование проводилось по следующим направлениям:

- картирование по геометрическим параметрам и содержанию металла;
- расчет количества полезного компонента моделированием параметров выемки с привязкой к различным технологическим схемам в поблочной и послонной разбивке продуктивного контура;

- определение геометрических и качественных характеристик зон концентрации содержания;

- построения планов изолиний содержания в принятых расчетных плоскостях и по заданным диапазонам.

В результате этих исследований установлено, что распределение запасов, как по содержанию, так и по геометрическим характеристикам, изменяется в соответствии с определенной закономерностью. Данная закономерность характеризуется значительным изменением процентного содержания полезного компонента в диапазонах, соответствующих требованиям применяемых геотехнологий и определяет принадлежность месторождения к кластерному типу распределения полезного компонента.

По результатам анализа геометрических параметров месторождения и качественных характеристик полезного компонента установлено, что эффективная отработка запасов возможна только при использовании нескольких типов геотехнологий, имеющих в своем составе различные сочетания наименований оборудования. Порядок погашения запасов должен предусматривать разработку месторождения на всю глубину, с созданием свободного выемочного пространства.

Дальнейшие исследования, имеющие целью определение качественных характеристик полезного компонента, выбор направления развития горных работ и рационального сочетания оборудования в комплексах мобильных геотехнологий предопределили необходимость разработки показателей качества продуктивного массива.

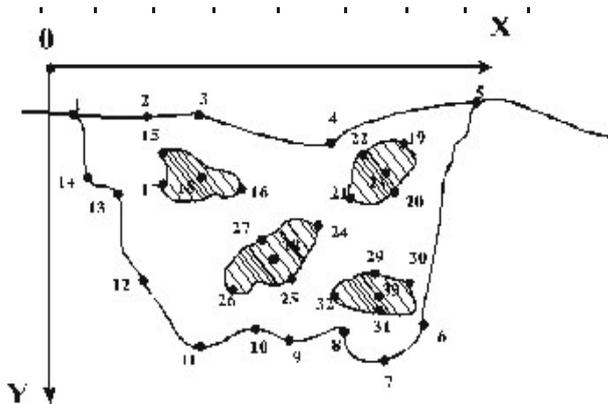
Наличие таких показателей (критериев), характеризующих неоднородность распределения содержания металла в обрабатываемых участках (блоках) требуется для эффективного применения способа селективной отработки. Селек-

тивная отработка запасов, с учетом применяемой технологии и оборудования и частичной сортировкой песков до стадии извлечения, в соответствии с имеющимися представлениями о строении массива россыпи и структуре ее запасов, является одним из наиболее важных направлений повышения эффективности отработки глубокозалегающих россыпей.

В качестве таких критериев были предложены два показателя. Для численного выражения закономерности распределения металла в какой-либо области месторождения является предпочтительным использование математического выражения, характеризующего неоднородность содержания какого-то материального эквивалента по тем или иным категориям. Наиболее подходящим для данной цели был определен закон распределения, характеризующийся кривой Лоренца. Этот закон был соответствующим образом приспособлен для характеристики распределения запасов в конкретном типе месторождения.

Вторым методом исследования коэффициента неоднородности было составление гистограмм "пески-металл", которые иллюстрируют собой отношение текущего содержания в интервале к среднему содержанию (C_i/C). Полученные закономерности изменения показателей неоднородности позволяют оптимизировать объемы горных работ и качественные характеристики добываемых песков в условиях дифференцированных эксплуатационных кондиций.

Вместе с тем данные качественные критерии, основанные на данных геологического опробования, в общем случае справедливы только в плоскости геологических разрезов. Распространение их влияния на пространство между геологическими разрезами требует разработки специальных критериев подобия, основанных на геометрическом, либо ка-



чественном сходстве характерных точек или контуров на разрезах.

Для обоснования коэффициента подобия геологических плоских изображений примем допущение, что разрезы (или погоризонтные планы, если таковые имеются), построены с достаточной точностью. Очевидно, что два смежных разреза тем более схожи (подобны), чем меньше расстояние (X) между ними. В предельном случае, при $X \rightarrow 0$ разрезы могут быть практически идентичными, а с ростом X подобие разрезов должно уменьшаться до нуля, хотя это не обязательно будет происходить монотонно.

С.А. Батугин в 1972 г. ввел некоторую меру схожести (сходства, подобия) разрезов в исследованиях по разработке методов прогноза нарушенности и сложности шахтных полей [2]. При этом на разрезе (плане) отмечаются характерные точки (точки выхода рудных тел под наносы, точки пересечения рудных тел геологическими нарушениями, вершины синклиналильных и антиклиналильных складок, точки перегиба, утоньшения и раздува рудных тел, а также другие характерные точки их контуров. На геологических разрезах россыпного месторождения выделяются контуры кластеров (зон разного качества и технологических свойств запасов полезных и вредных компонентов) и отмечаются

характерные точки контуров этих зон, их центры тяжести и т.д.

Для нахождения координат характерных точек начало координат фиксируется следующим образом: на плане верхнего горизонта проводится по простиранию рудной зоны прямая линия (L) и далее находятся точки пересечения ее с разведочными линиями. Эти точки затем отмечаются на

разрезах (рис. 1 по россыпи р. Б. Куранах).

Ось абсцисс (x) направляется по разведочной линии, а ось ординат (y) - вниз по направлению роста глубины вертикальных разведочных скважин (рис. 2). После того, как на разрезе отмечены характерные точки (рис. 2), они нумеруются, и после определения их координат заносятся в таблицу.

Координаты характерных точек разреза по разведочной линии $J(J=1,2,...)$

№ точки	Принадлежность точки	Координаты, м	
		X	Y
1	Контур россыпи		
2	-//-//-		
...	-//-//-		
15	Контур кластера I		
...			

Считаем далее, что множество характерных точек на разрезе представимо комплексной случайной величиной:

$$z = x + iy, \quad (1)$$

где x и y координаты характерной точки данного разреза, $i = \sqrt{-1}$ - мнимая единица [3].

Для оценки подобия каких-либо двух плоских разрезов (и вообще, плоских образов), в качестве меры сходства можно принять корреляционный момент двух комплексных случайных величин:

$$z_1 = x_1 + iy_1 \quad \text{и}$$

$$z_2 = x_2 + iy_2.$$

В качестве корреляционного момента для двух комплексных случайных величин служит математическое ожидание произведения одной центрированной величины на соответствующую второй величине комплексную сопряженную величину:

$$K_{z_1 z_2} = M[\dot{z}_1 \dot{z}_2] = M[(x_1 + iy_1)(x_2 - iy_2)] =$$

$$= K_{x_1 x_2} + K_{y_1 y_2} + i(K_{y_1 x_2} - K_{x_1 y_2}), \quad (2)$$

где $K_{x_1 x_2}, K_{y_1 y_2}, K_{y_1 x_2}, K_{x_1 y_2}$ - соответствующие корреляционные моменты величин $(x_1, x_2), (y_1, y_2), (y_1, x_2), (x_1, y_2)$, а, следовательно, и коэффициент корреляции:

$$r_{z_1 z_2} = r_{x_1 x_2} + r_{y_1 y_2} + i(r_{y_1 x_2} - r_{x_1 y_2}), \quad (3)$$

где $r_{x_1 x_2}, r_{y_1 y_2}, r_{y_1 x_2}, r_{x_1 y_2}$ - соответствующие коэффициенты корреляции величин $(x_1, x_2), (y_1, y_2), (y_1, x_2), (x_1, y_2)$.

Таким образом, коэффициент подобия будет равен:

$$K_n = \frac{|r_{z_1 z_2}|}{2}, \quad 0 \leq K_n \leq 1 \quad (4)$$

где модуль коэффициента корреляции:

$$|r_{z_1 z_2}| = (r_{x_1 x_2} + r_{y_1 y_2})^2 + (r_{y_1 x_2} - r_{x_1 y_2})^2. \quad (5)$$

Если разрезы совершенно одинаковы, то $K_n = 1$, а если совершенно отличные, разные - $K_n = 0$.

Все последнее справедливо при сохранении, наличии на сравниваемых плоских изображениях всех характерных (одних и тех же) точек.

В случае геологических разрезов на втором из них могут отсутствовать некоторые характерные точки первого разреза и (или) - появиться новые, не свойственные первому разрезу. Поэтому

Рис. 2. Схема выбора направлений осей координат и определения координат характерных точек (на примере разреза по россыпи р. Б. Куранах с выделенными кондиционными кластерами золотоносных песков и 33-мя характерными точками)

окончательно коэффициент подобия геологических плоских изображений, как и многих других, записывается в виде:

$$K_n = \frac{|r_{z_1 z_2}|}{2} \lambda \quad (6)$$

где λ - поправочный коэффициент, равный:

$$\lambda = \frac{(n_1 - n_{01}) + (n_2 - n_{02})}{n_1 + n_2} \quad (7)$$

где n_1, n_2 - число характерных точек, соответственно, на первом и втором разрезах; n_{01}, n_{02} - соответственно, число отсутствующих на втором разрезе точек с первого разреза и наоборот - число появившихся новых точек на втором разрезе, которых не было на разрезе первом.

С практической точки зрения, использование вышеописанного коэффициента подобия предполагается в следующих направлениях.

1. Для доказательства предполагаемой закономерности, состоящей в том, что подобие смежных разрезов при фиксированном (постоянном) расстоянии между ними изменяется по простиранию рудных зон и имеется выраженная тенденция увеличения коэффициента подобия в центральных частях этих зон (рудных тел и рудных зон) рудных месторождений определенных генетических типов, а для протяженных россыпных месторождений (типичный пример - россыпь р. Б. Куранах) имеет место полимодальное изменение K_n и т.д.

Практическими следствиями из указанного направления могут быть следующие:

- традиционная практика проектирования разведочных сетей с заданными инструктивно постоянными расстояниями (на конкретном месторождении) между разведочными линиями, между скважинами (и другими разведочными выработками) порочна: плотность разведочной сети должна быть переменной и изменяемой в процессе реализации начального проекта по мере накопления знаний о месторождении, а также совершенствования методики и техники разведки, оценки и разработки;

- можно показать, что на многих месторождениях реализованы сети как с заниженной, так и завышенной плотностью, что в обоих случаях приводит к

экономическому ущербу при освоении месторождений;

- последовательное введение в практику проектирования и реализации сетей разведки, доразведки, эксплуатационного опробования количественной меры подобия геологических разрезов даст значительный экономический эффект;

- коэффициент подобия разрезов можно успешно использовать при оценке природного геологического разубоживания руд, картировании зон с разным качеством руд и при поиске рациональных геотехнологий.

2. Для доказательства предполагаемого наличия ряда закономерностей в несинхронности изменения подобия различных структурных элементов месторождения, обусловленного особенностями процессов образования и эволюции рудной зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бураков А.М., Ермаков С.А. Создание и модернизация геотехнологий разработки россыпных месторождений на основе анализа качественной характеристики запасов / Современные технологии освоения минеральных ресурсов: Сб. науч. тр. по матер. III Межд. науч.-техн. конф. – Красноярск, 2005. С. 182-190.

2. Батугин С.А., Мякишева Л.Е. Отчет по НИР "Разработка методов прогноза нарушенности и сложности шахтных полей, качества угля и разработка принципов промышленной группировки угольных шахт и разрезов по условиям доразведки нижних горизонтов". – Кемерово, 1973. – 106 с.

3. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 167 с. **ГЛАС**

Коротко об авторах

Ермаков С.А., Бураков А.М., Батугина Н.С. – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2007». Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Н. Попов.

© С.А. Ермаков, А.М. Бураков, Н.С. Батугина, 2008

УДК 622.271.5

С.А. Ермаков, А.М. Бураков, Н.С. Батугина

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ

Исследование устойчивости и изменчивости пространственного и (или) статистического распределения запасов полезного ископаемого требует знания определенных структурных признаков, важных при создании, совершенствовании и развитии методики такого исследования.

Основными из них могут быть, например, такие, как распределение запасов по глубине их залегания, по мощности рудных тел, углу падения рудных тел, по разным видам опасности (удароопасности, выбросоопасности и т.д.), по обогатимости, по содержанию в них полезных и вредных компонентов и т.д. Их можно рассматривать как структурные признаки в целом, или структуры запасов по данному показателю (свойству и др.).

Необходимость повышения производительности труда на разработке россыпных месторождений, развития теории и практики управления качеством добычи руд, технологического опробования и картирования, определили актуальность вопроса выявления и оконтуривания рудных скоплений, определения их качественных и количественных характеристик.

Для выделения и геометризации зон повышенного содержания металла, или так называемого кластерного анализа, используются программы компьютерного моделирования и подсчета запасов, основанные на использовании данных геологического опробования.

Для анализа данных опробования, применительно к условиям погребенного россыпного месторождения Б. Куранах (Алдан, Якутия) были разработаны

алгоритм и программа (в 3-мерной постановке) расчета количества полезного компонента (ПК) по заданному набору диапазонов его содержания (мг/м^3) в контуре россыпного месторождения и соответствующих каждому диапазону объемов извлекаемой из массива горной массы [1].

На вход программы подаются три типа данных:

- горизонтальные координаты скважин;
- вертикальные координаты тех горизонтов (точек) в пределах каждой скважины, где производилось геологическое опробование;
- значение содержания металла для каждой пробы.

Исходные данные по каждому разрезу формируются в виде двух файлов – файла контура и файла содержаний. Таким образом, по геометрическим координатам и данным геологического опробования в определенных точках массива задается поле содержаний ПК.

Для расчета объемных параметров к указанным выше задается продольная координата, причем продольная координатная ось перпендикулярна плоскостям разрезов, а разрезы параллельны друг другу. Дополнительно задается набор диапазонов содержания ПК. Это производится на основании технологических требований к качеству минерального сырья, определяемых возможностями добычного и обогатительного оборудования.

По результатам расчета выполнено построение линий равных значений содержания ПК в заданных горизонтальных сечениях россыпи пакетом про-

грамм SURFER. Дискретность отображения выбиралась конкретно по горно-технологическим участкам россыпного месторождения. Произведен анализ характеристик распределения полезного компонента в продуктивном массиве месторождения.

По выполненным в ИГДС СО РАН расчетам построены гистограммы распределения запасов по содержанию золота для каждого геологического разреза по всем разведочным линиям россыпи р. Б. Куранах. В общем случае они имеют следующий вид (табл. 1).

Данная структура запасов является характерной для большинства геологических разрезов по россыпи р. Б. Куранах. По данным табл. 1 очевидным является тот факт, что более половины песков россыпи являются некондиционными при обычной их добыче.

Основные положения методики количественной оценки устойчивости и изменчивости этих и подобных структур рассмотрены дальше.

Пусть имеется структура запасов песков (типа части табл. 2) для N разре-

Таблица 1

Структура запасов золота и песков

Содержания золота, мг/м ³	Запасы, %	
	Золота	Песков
До 50	10	50
51-100	15	25
101-200	25	10
201-400	30	10
>400	20	5
Ср.=	Всего 100	Всего 100

зов с номерами по порядку их расположения ($1, 2, \dots, i, \dots, k, \dots, N$). Эти данные сведены в таблицу типа табл. 2, где элементы структуры выражены в долях единицы.

В таблице введены обозначения X_{ij} – значение элемента структуры i -того разреза и j -того интервала (элемента) структуры.

Основной задачей исследований структуры запасов является нахождение количественной меры схожести, близости, устойчивости или изменчивости данной структуры от разреза к разрезу при разных расстояниях между разрезами.

Таблица 2

Структуры запасов золотоносных песков по разведочным линиям

№ разрезов п/п	Интервалы содержания золота, мг/м ³				
	0-50	51-100	101-200	201-400	Более 400
1	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}
2	X_{21}	X_{22}	X_{23}	X_{24}	X_{25}
...
i	$0,50 = X_{i1}$	$0,25 = X_{i2}$	$0,10 = X_{i3}$	$0,10 = X_{i4}$	$0,05 = X_{i5}$
...
k	$X_{k1} = 0,6$	$X_{k2} = 0,3$	$X_{k3} = 0,05$	$X_{k4} = 0,00$	$X_{k5} = 0,00$
...
N	X_{N1}	X_{N2}	X_{N3}	X_{N4}	X_{N5}

Таблица 3

Матрица расстояний (меры сходства и различия) между структурами запасов золотоносных песков по разрезам россыпи р. Б. Куранах

№ п/п	Номера разрезов (и структур)							
	1	2	...	i	...	k	...	N
1	0	ρ_{12}	...	ρ_{1i}	...	ρ_{1k}	...	ρ_{1N}
2	ρ_{21}	0	...	ρ_{2i}	...	ρ_{2k}	...	ρ_{2N}
...
i	ρ_{i1}	ρ_{i2}	...	0	...	ρ_{ik}	...	ρ_{iN}
...
k	ρ_{k1}	ρ_{k2}	...	ρ_{ki}	...	0	...	ρ_{kN}
...
N	ρ_{N1}	ρ_{N2}	...	ρ_{Ni}	...	ρ_{Nk}	...	0

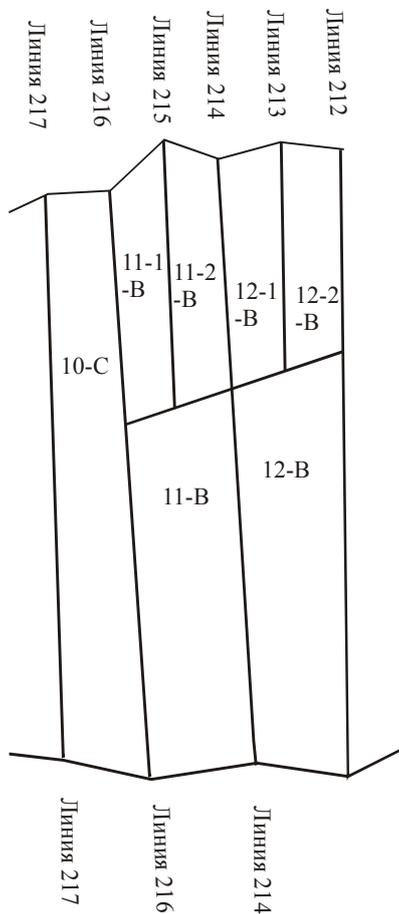


Рис. 1.

В 1986 г. Батугиной Е.Н. предложено [2] рассматривать i -ю структуру из n элементов (интервалов) точкой в n -мерном пространстве $M_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$, а различие двух структур с номерами i и k оценивать расстоянием между точками $M_i(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ и

$M_k(x_{k1}, x_{k2}, \dots, x_{kn})$:

$$\rho_{ik} = \sqrt{(x_{i1} - x_{k1})^2 + (x_{i2} - x_{k2})^2 + \dots + (x_{in} - x_{ik})^2}.$$

Для двух структур i и k табл. 2 он равен:

$$\begin{aligned} \rho_{ik} &= \\ &= \sqrt{(0,6 - 0,5)^2 + (0,3 - 0,25)^2 + \\ &+ (0,10 - 0,05)^2 + (0,10 - 0)^2 + (0,05 - 0)^2} = \\ &= 0,0275. \end{aligned}$$

Дальнейшие исследования требуют проведения таксономии. Наиболее удобный способ был предложен и реализован на матрицах такой же размерности Батугиной Е.Н. в 1987 г. (табл. 3).

Для количественной оценки подобия (сходства) разрезов необходим ввод коэффициента подобия K_p .

Геологические разрезы вкрест простирания, отстоящие друг от друга на небольшом расстоянии, похожи тем больше, чем меньше это расстояние. Очевидно, что при расстоянии равном

**Схема представления результатов исследования
разрезы 212, 213, 214, 215, 216, 217**

произведен расчет по двум направлениям

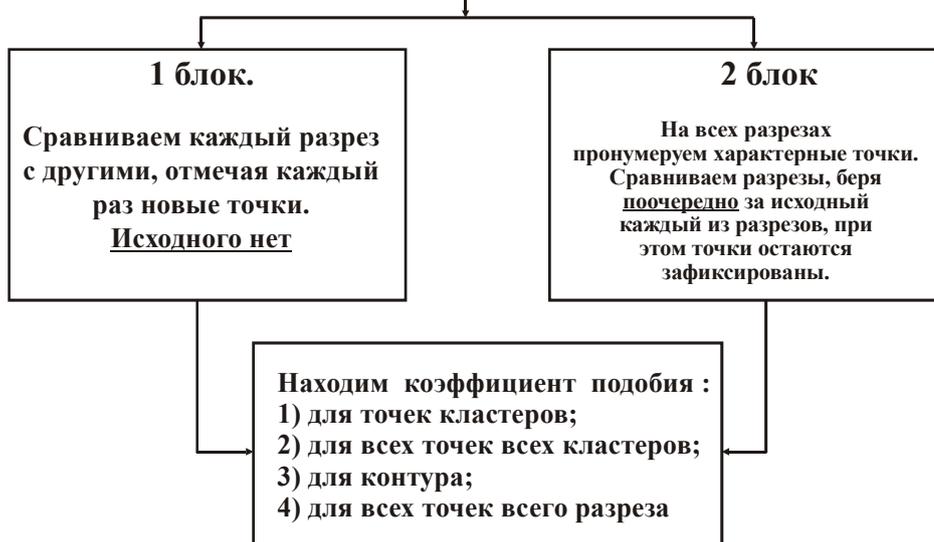


Рис. 2. Схема представления результатов

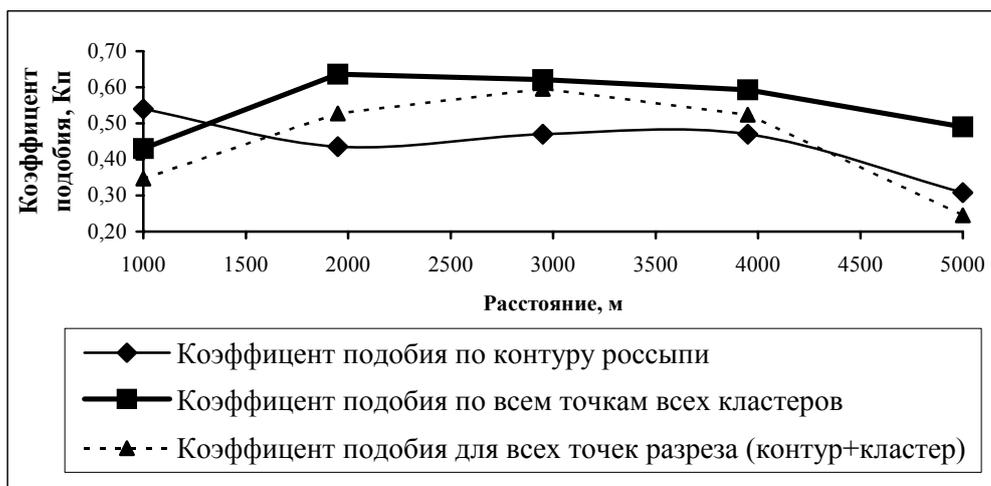


Рис. 3. Зависимость коэффициента подобия от расстояния для разрезов 212-217 при условии, что отмечались разные точки

нулю ($l = 0$) разрезы подобны полностью и коэффициент подобия равен единице. При $l \rightarrow \infty$, очевидно также, что коэффициент подобия $K_n \rightarrow 0$.

В первом приближении ясно, что чем быстрее меняется вид разреза с увеличением l , тем сложнее геологическое строение поля по простиранию россыпи, тем меньше должно быть расстояние

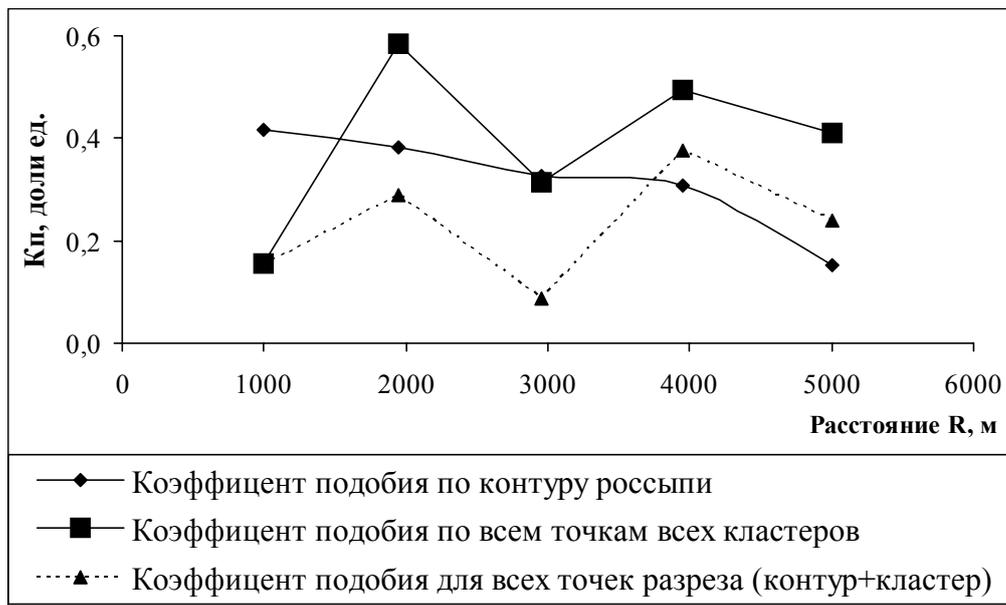


Рис. 4. Зависимость коэффициента подобия от расстояния для разрезов 212-217 при фиксированных характерных точках

между разведочными линиями с тем, чтобы можно было воспроизвести разрезы и проводить их – и экстраполяцию с заданной точностью. Очевидно, что нет смысла располагать разведочные линии на таком расстоянии, когда разрезы еще абсолютно похожи.

В то же время нецелесообразно и выбирать слишком большое расстояние между разрезами, когда они уже совершенно не похожи, так как в этом случае для построения нового разреза мы практически уже не сможем использовать информацию, полученную на первом разрезе. Интерполяция также становится полностью неопределенной. По-видимому, должно быть какое-то оптимальное расстояние между разрезами, при котором $0 < K_n < 1$.

Для подтверждения методики были исследованы разрезы глубоко погребенной россыпи р. Б. Куранах по разведоч-

ным линиям 212, 213, 214, 215, 216, 217 (рис. 1). На всех разрезах россыпи занумерованы характерные точки. Характерными точками считаются точки кластеров, имеющих наибольшее содержание, точки встречи контуров с нарушениями.

В первом блоке разрезы сравниваются друг с другом и отмечаются все возможные характерные точки на каждом разрезе. Точки не фиксируются и, каждый раз, сравнивая поочередно разведочные линии, характерные точки отмечаются заново. Например, при сравнении р.л. 212 и р.л. 213, отмечается ряд характерных точек по кластерам, по контуру, однако, начиная сравнивать р.л. 212 и р.л. 214, все характерные точки на 212 разрезе отмечаются заново.

Расчет K_n производился по следующей схеме (рис. 2).

Во втором блоке сравниваются все разрезы разведочных линий, принимая

поочередно за исходный каждый из разрезов. Фиксируются все характерные точки по кластерам, по контуру на р.л. 212, 213, 214, 215, 216 и 217. При сравнении разрезов друг с другом координаты не отмечаются заново, а каждый берется с зафиксированными точками.

Коэффициент подобия K_n рассчитывается для всех точек отмеченных кластеров каждой разведочной линии, для всех точек всех кластеров, для контура и для всех точек разреза (суммируются все точки кластеров и точки по контуру).

В результате такого анализа построена зависимость K_n от расстояния

R (рис. 3-4). В данном случае 212-й разрез поочередно сравнивается с каждым.

Видно, что при фиксированных точках изменение коэффициента подобия более значительно, кроме того, диапазон его находится в нижних пределах, нежели при изменяющихся точках. В целом, показана полиmodalность изменения K_n для участка россыпного месторождения.

Результаты исследований можно использовать при проектировании разведочных сетей, при разведке и доразведке месторождений, при оценке ошибок геологических прогнозов, при оценке условий разработки рудных и россыпных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермаков С.А., Бураков А.М., Тетельбаум А.С. Разработка программы анализа и подсчета запасов в рудном теле россыпного месторождения / Исследования по инженерно-физическим проблемам Севера // Сб. науч. тр. – Якутск, 2003. С. 21-27.

2. Батугина Е.Н. Анализ и прогнозирование экономических показателей угольных разрезов/ Дис. на соискание уч. степ. к.э.н. – Новосибирск, 1989. – 199 с. 

Коротко об авторах

Ермаков С.А., Бураков А.М., Батугина Н.С. – Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 2 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. В.Н. Попов.

