© С.М. Ткач, И.Д. Баракаева, П.А. Омельяненко, 2007

УДК 543.051:543.052

С.М. Ткач, И.Д. Баракаева, П.А. Омельяненко

*ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОЕ ОПРОБОВАНИЕ И СТАТИСТИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ ЗАПАСОВ РУД**

Достоверность оценки количества и качества запасов полезных (и вредных) компонентов играют решающую роль для правильной оценки месторождений, как и последующей отработки их конкретных участков [1-3]. Многочисленные примеры прошлого и настоящего времени свидетельствуют как о завышении запасов полезных компонентов при разведке рудных и россыпных месторождений, так и о занижении [4-10 и др.] на первые десятки процентов и до двух-трех раз по месторождению в целом и более – по отдельным блокам. В многочисленных научных работах рассматривались многие причины возникновения подобных ошибок (неразработанность генетических моделей месторождений; ошибочная интерпретация данных ГРР; сложность геологических условий и несоответствие параметров разведочных сетей; ошибки отбора и обработки проб; непредставительность геологических проб; истирание керна; искривление скважин; ошибки оконтуривания рудых тел, оценки средних содержаний, рудоносности и др.).

В данной статье рассматриваются систематические ошибки оценки запасов и средних содержаний полезного компонента при разведке месторождений гнездового, ленточного и т.п. строения.

Рассмотрим предварительно следующие две модели разведки участков месторождений различного морфологического строения (рисунок).

Пусть максимальный возможный диаметр гнезда меньше расстояния между разведочными скважинами (расстояние h). Вероятность подсечения скважиной (обнаружения) произвольно взятого гнезда при этом будет равна

$$P = \frac{S_{гн.}}{hd} < 1, \qquad (1)$$

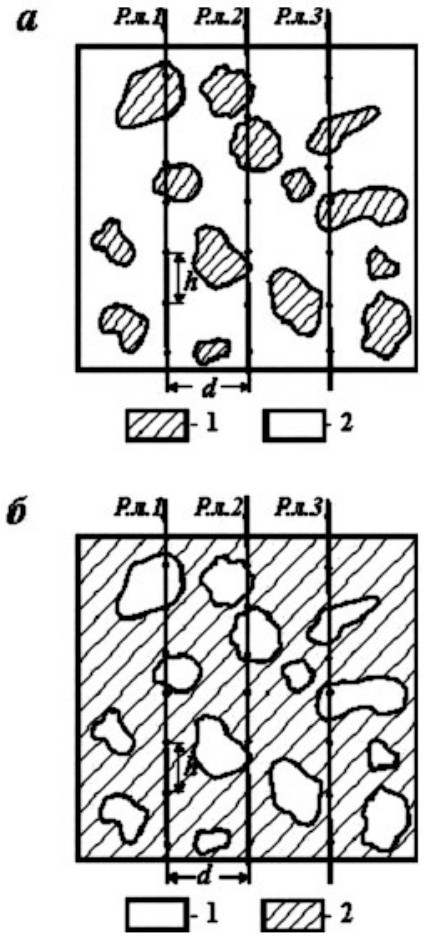
где $S_{гн}$ – площадь гнезда; d - расстояние между рядами скважин.

Для малых гнезд даже при густой сети скважин *(*20х20*,* 20х40 м*)* эта вероятность может быть менее 1/3 и даже менее 1/10. Таким образом, в среднем из имеющихся n гнезд на разведываемой площади будет обнаружено гнезд:

$$m = n \cdot p = n \cdot \frac{S_{гн}}{hd}. \qquad (2)$$

В этом случае есть все основания полагать, что подсчитанные запасы будут меньше фактических примерно в $1/p$ раз, т.е. в подобных ситуациях возникают систематические ошибки в оценке запасов в сторону занижения их. Более

* Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-05-96120)



Схемы разведки участков месторождений разных морфологических типов: а – пуассоновское поле богатых (1) гнезд на фоне бедных (2) руд (песков); б – пуассоновское поле площадок бедных (1) гнезд на фоне богатых (2) руд (песков)

того, при такой ситуации во многих случаях промышленный участок месторождения может быть вообще пропущен. Например, если на участке разведки имеется *N* гнезд со средней площадью 25 м^2, а сеть разведки 20х200 м, то вероятность обнаружения произвольного гнезда по (1) этой сетью равна 0,0062, а вероятность необнаружения *1-P = 0,994*. Вероятность того, что этой сетью не будет обнаружено ни одного гнезда из *N*, т.е. вероятность пропуска этого промышленного участка будет равна $P_{\text{проп}} = 0,994^{N}$ и при *N*, равном 8, 16, 32, 64, 128, соответственно, будем иметь 0,953; 0,908; 0,824; 0,679; 0,46.

Таким образом, даже если на площади поиска 100 таких гнезд, то и тогда вероятность пропуска этого участка более половины. А это значит, что будет пропущен каждый второй такой участок. При меньшем числе таких гнезд, например, $25 \div 30$, будет пропущено 75 % подобных участков.

Рассмотрим противоположный случай, когда на фоне богатых участков по содержанию металла имеем «включения» пустых (бедных) участков руд (песков) – рисунок, *б*. В этом и подобных случаях есть основания ожидать также систематические ошибки в оценке запасов, но уже в сторону завышения.

Ниже будут построены более точные оценки систематических ошибок в подсчете запасов по этой и другим причинам и указаны пути повышения точности. Здесь же отметим, что при разведке и разработке золотоносных россыпей Северо-востока России накоплены уникальные результаты всестороннего анализа, прямо и косвенно подтверждающие правдоподобность рассматриваемой причины систематических ошибок [11-17].

Концентрационная неоднородность распределения полезных компонентов в россыпных (и других) месторождениях и в земной коре в целом является природным свойством недр. Характерными примерами такой неоднородности являются гнездовое, струйчатое, гнездово-струйча-тое, мозаичное распределения полезного компонента. Например, на

рудных месторождениях (при кустовом распределении рудных скоплений) размеры богатых рудных скоплений 20х50, при гнездовом - 10х20 м. Участки с содержанием олова ниже бортового составляют в контуре отработки до 50 %, размеры их обычно (l0÷20)х(10÷20) м [13]. На россыпных месторождениях золота обогащенные участки имеют обычно линзовидную форму. Ширина линз колеблется от 1,5-4,5 м и более, длина - от 3-5 до 20-30 м. Расстояние между линзами колеблется от 3 до 25 м [14-16 и др.].

В таких случаях обычно рекомендуемая сеть разведочных выработок 10х100 и 10х50 м недостаточно эффективна. Использование траншей при разведке и переоценке подобных россыпей дало хорошие результаты, но дорого [16]. Как показывает практика, перспективные участки в крупных долинах зачастую разведывались неоднократно, пока были открыты локализованные там промышленные россыпи. При этом суммарная плотность сети в 2-3 раза превышала рекомендуемую [17].

При поисках и разведке месторождений редких и радиоактивных металлов площадь безрудных участков внутри балансового контура составляет для категории C_1 - 60÷100 %, категории В - 40÷60 % истинной площади рудных участков [18]. Будилин Ю.С., отмечая изучение процессов концентрации и рассеяния элементов в породах как важнейшую задачу геологии, подчеркивает также важность для оптимизации сетей разведки расшифровку структуры россыпи.

Авторами предпринята первая попытка рассмотреть вопрос оптимизации разведки подобных россыпей с позиции геометрических вероятностей обнаружения зон концентрации металла различными сетями разведки. Краткое введение в эту проблему с качественной стороны дано выше. Под оптимизацией сети разведки в этом случае мы будем понимать построение таких комбинаций сети разведки, которые дают наибольшую вероятность обнаружения зон концентрации металла. Однако, важный результат такого подхода еще и в другом. Действительно, допустим на некоторой площади мы имеем ряд неизвестных зон концентрации металла и найдены вероятности $P_1, P_2 \ldots P_к$ обнаружения зон со средними параметрами $(a_1, b_1), (a_2, b_2), \ldots, (a_k, b_k)$ данной сетью наблюдений. Допустим, что при разведке этой сетью наблюдений выявлено $n_1, n_2 \ldots, n_k$ зон концентрации, соответственно, с параметрами (a_i, b_i). Тогда истинное число зон концентрации ориентировочно можно определить из выражения $N_i = \frac{n_i}{P_i}$. А это уже позволит более правильно оценить перспективность данной пло-щади и ожидаемые на ней запасы.

Объектами поиска являются разнообразные зоны концентрации металла (или безрудные зоны).

Разведочные сети будем моделировать следующими схемами:

-равномерная прямоугольная сеть разведочных выработок (скважин, шурфов и т.п.);

-системы параллельных траншей, горных выработок, скважин.

В последнем случае задача формулируется следующим образом: на плоскость, разграфленную параллельными прямыми на расстоянии d, бросается случайным образом выпуклый замкнутый контур длины l, *наибольший диаметр которого а не превосходит d.* Найти вероятность того, что он пересечется с какой-либо из прямых. Решение этой задачи приведено в [19] и вероятность того, что выпуклый замкнутый

контур длины l пересечется с какой-либо из прямых равна $l / d\pi$.

Сравним вероятности обнаружения равных объектов сетью скважин и сетью горных выработок (таблица). Например, для кругового гнезда при $h = 10$, $d_c = 50$, $2r = 3{,}3$ м вероятность обнаружения зоны концентрации сетью скважин оказалась равной 0,02. Для тех же условий и $d_в = 50$ м вероятность обнаружения зоны сетью выработок будет равна 0,07, что в три раза выше, чем сетью скважин, хотя тоже очень мала. Заметим, что вероятности обнаружения инвариантны относительно одновременного изменения масштаба объекта поиска и сетей разведки.

Безусловно, качественное обнаружение зоны концентрации скважиной (в одной точке) не тождественно обнаружению этой же зоны щелью, траншеей или подземной горной выработкой не только с точки зрения надежности определения среднего содержания металла. Обнаружение щелью, траншеей или подземной горной выработкой еще означает пересечение и опробование в выработке всей зоны по какой-то хорде. По таким сечениям можно судить о размерах зон, провести достаточно представительное опробование, изучить структуру и текстуру, иногда гипсометрию почвы и кровли оруденения.

Если при заданных форме, размеров гнезд зон концентрации полезного компонента и параметрах сети разведки вероятность обнаружения гнезда равна P (по таблице, P_c или $P_в$), то вероятность не обнаружения равна $1\text{-}P$. Вероятность того, что из n

Сравнение вероятностей обнаружения объектов поиска сетью скважин с параметрами h, d и сетью горных выработок с расстоянием между выработками d

Форма и размеры объектов поиска	**Вероятности обнаружения***
***(a, b* соответственно, max и min диаметры)**	**сетью скважин, P_c**	**сетью выработок, $P_в$**
Круг $2r = a < h < d$ $h < a < d$	$\frac{\pi r^2}{hd_c}$ $\sim\frac{2r}{d_c}$	$\frac{2r}{d_в}$ $\frac{2r}{d_в}$
Эллипс с длинной осью перпендикулярно разведочным линиям $a < d$, $b < h$ $a < d$, $b > h$	$\frac{\pi ab}{hd_c}$ $\sim\frac{ab}{hd_c}$	$\frac{a}{d_в}$ $\frac{a}{d_в}$
Эллипс с длинной осью параллельно разведочным линиям $a > h$, $b < d$	$\sim\frac{ab}{hd_c}$	$\frac{b}{d_в}$
Лента перпендикулярно разведочным линиям $a < d$, $b < h$ $a > d$, $b > h$	$\frac{ab}{hd_c}$ 1	$\frac{a}{d_в}$ 1

* Заметим, что скважины перпендикулярны плоскости рисунка, а горные выработки – в этой плоскости.

зон концентрации не будет обнаружено ровно m зон определится биномиальным распределением

$$P_n(m) = C_n^m p^{n-m}(1-p)^m ,$$

где $C_n^m = \frac{n!}{m!(n-m)!}$ - число подсечений из n по m, а вероятность пропуска всех гнезд при этом будет $P_n(n) = (1-p)^n$.

Практика разведки и разработки месторождений гнездового, струйчатого, ленточного строения свидетельствуют о том, что в реальной ситуации вероятность пропуска разведкой даже 50 % зон высокой концентрации металла не ред-

кость. Приведенные оценки указывают на одну из важнейших причин такого явления.

1. Показано, что пока расстояния между разведочными скважинами в ряду превышают диаметр *a, b* зон концентрации металла (гнезда, зоны высокой концентрации), для повышения вероятности их обнаружения разведочной сетью все равно, что уменьшить: расстояния между скважинами в ряду или между рядами скважин (в одно и то же число раз).

2. При максимальном диаметре зоны концентрации металла $h < a \le d$ (h - расстояние между скважинами в ряду и d - расстояние между рядами скважин) уменьшение расстояния между скважинами в ряду уже не приводит к повышению вероятности обнаружения (хотя бы одной скважиной) зоны (хотя увеличивается вероятность попадания в зону более одной скважины), в то время как уменьшение расстояний между рядами скважин ведет к пропорциональному увеличению вероятности обнаружения зоны.

3. Лучшим вариантом разведки месторождений гнездового типа при заданной плотности сети разведки *hd* является вариант, когда $b < h < a$.

4. При разведке месторождений ленточного (струйчатого) строения с лентами, длиною $a < d$ и шириною $b < h$, ориентированными преимущественно вдоль лент, лучшим вариантом разведки при заданной плотности сети *hd* будет вариант, при котором $\frac{b}{2} < h < b$.

5. Установлены условия равносильности разведочных сетей скважин и горных выработок (с точки зрения обнаружения зон концентрации металла), позволяющие в конкретных условиях более обоснованно выбрать метод разведки и определить параметры разведочных сетей.

6. При сложной морфологии месторождений, принятых методах разведки и опробования вероятности пропуска 50 % зон концентрации может достигать 0,5-0,9, а вероятность полного пропуска зоны или ее значительного участка 0,3-0,5.

7. Выводы 1-6 остаются справедливыми, если вместо зон концентрации минералов на общем фоне бедных руд (песков) рассматривать зоны пустых и бедных руд на общем фоне кондиционных. В этом случае имеем соответствующие вероятности обнаружения и пропуска гнезд «пустых» руд, ведущие к систематическому занижению запасов.

8. Приведенный анализ позволяет полагать, что основной причиной пропуска промышленных участков месторождений, а также причиной ошибок в оценке запасов полезных компонентов (занижение) являются отмеченные особенности морфологии месторождений. Значительным положительным продвижением в этой проблеме могут стать геофизические технологии выявления рассматриваемых объектов по соответствующему комплексу сопутствующих геологических факторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические* указания по проведению стоимостной оценки запасов и ресурсов углеводородного сырья участка недр. – М.: МПР, 2003.

2. *Ампилов, Ю.П.* Стоимостная оценка недр / Ю.П. Ампилов. – М.: Геоинформцентр, 2003. – 274 с.

3. *Сушон, А.Р.* Проблемы определения экономической эффективности геологоразведочных работ на твердые полезные ископае-

мые в капиталистических странах / А.Р. Сушон. – М.: ВИЭМС, 1970.

4. *Методика* разведки рудных месторождений. Выпуск 130. – М.: ЦНИГРИ, 1977.

5. *Давид М.* Геостатистические методы при оценке запасов руд / Давид М.; Пер. с англ. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

6. *Викентьев В.А.* Экспертиза подсчета запасов рудных месторождений / В.А. Викентьев, И.А. Карпенко, М.В. Шумилин. – М.: Недра, 1980. – 360 с.

7. *Яковлев М.А.* Выбор систем разработки для месторождений с неравномерным оруденением / М.А. Яковлев, Н.А. Жуков, Н.В. Дронов. Фрунзе: Илим, 1978. – 176 с.

8. *Батугин С.А.* Теоретические основы опробования и оценки запасов месторождений / С.А. Батугин, Е.Д. Черный. – Новосибирск: Наука, Сиб. предприятие РАН, 1998. – 344 с.

9. *Ткач С.М.* Методологические и геотехнологические аспекты повышения эффективности освоения рудных и россыпных месторождений Якутии / С. М. Ткач; отв. ред. С.А. Батугин; Рос. акад. наук. сиб. отд-ние, Ин-т горного дела Севера СО РАН. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2006. – 284 с.

10. *Снетков В.И.* Анализ причин систематического расхождения запасов по результатам разведки и отработки алмазоносных россыпей / В.И. Снетков, Б.Л. Тальгемер, С.А. Дементьев // Маркшейдерский вестник. № 3, 2005. – С. 48-50.

11. *Шувалов В.В.* К методике разведки сложных россыпей / В. В. Шувалов // Материалы по геологии и полезным ископаемым Северо-востока СССР, вып. 24. – Магадан: Магаданское книжное изд-во, 1978. – 260 с.

12. *Хрипков, А.В.* Распределение золота в россыпях Северо-востока и густота сети поисковой разведки / А.В. Хрипков. Магадан: – Магаданское книжное изд-во, 1958. – 56 с.

13. *Рациональная* сеть предварительной разведки. – М.: Недра, 1978. – 262 с.

14. *Кавчик Б.К.* Разведка и охрана недр / Б.К. Кавчик, И.Ф. Днепровский, В.М. Фролов // 1984. – № 3. – С. 30-32.

15. *Купер-Конин В.В.* Струи золотоносных россыпей и зависимость от них густоты разведочных выработок / В.В. Купер-Конин // Труды Дальневосточного политехнического института, вып. 9. – Владивосток, 1931. – 97 с.

16. *Есипов А.В.* Совершенствование разведки неглубокозалегающих россыпей / А.В. Есипов, Г.Н. Шаров // Разведка и охрана недр. – 1978. – № 6. – С. 21-23.

17. *Травин Ю.А.* К методике разведки россыпей золота на Северо-востоке СССР / Ю.А. Травин, П.П. Богомяков, П.Д. Волошин и др. // Колыма. – 1974. - № 1. - С. 45-47.

18. *Каждан А.Б.* Поиски и разведка месторождений и радиоактивных металлов / А.Б. Каждан, Н.Н. Соловьев. – М.: Недра, 1982. – 279 с.

19. *Вентцель Е.С.* Теория вероятностей / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Наука, 1969. – 366 с. ГИАБ

Коротко об авторах

Ткач Сергей Михайлович – ученый секретарь Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН, кандидат технических наук, старший научный сотрудник

Баракаева Ирина Давлетовна – инженер, аспирант Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН

Омельяненко Павел Александрович – инженер Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН

Статья представлена на заседании лаборатории Проблем рационального освоения минерально-сырьевых ресурсов Института горного дела Севера им. Н.В. Черского СО РАН.

Рецензент: *Батугин Сергей Андрианович* - доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник ИГДС СО РАН, академик АН РС (Я).