

И. И. Силин

**Количественная оценка ресурсов твердых полезных
ископаемых по геохимическим данным**

Prognostic Resources Quantitative Assessment
on the Basis of Geochemical Data

Москва
Издательство Нобель Пресс
2014

УДК 550.84:553.041

ББК 26,3

Научный редактор: доктор геол-мин. наук **А.А. Головин**

Силин, И.И.

С36 Количественная оценка ресурсов твердых полезных ископаемых по геохимическим данным. / И.И. Силин. — Москва: издательство Нобель Пресс, 2014. — текст -170 с., табл. 42, рис. 36.

ISBN 978-5-518-74789-0

В книге изложен новый метод количественной оценки прогнозных ресурсов полезных ископаемых по результатам литохимического опробования. Метод основан на использовании параметров подсчета запасов, принятых при разведке месторождений: минимального промышленного содержания, минимального объема руды, коэффициента рудоносности. Приведены примеры вычисления ресурсов на разных стадиях геологоразведочных работ.

Для специалистов, занимающихся поисками и разведкой месторождений, студентов и аспирантов геологических вузов.

ISBN 978-5-518-74789-0

© Издательство Нобель Пресс, 2014

© И.И. Силин, 2014

Abstract—The fundamentals of new method of evaluation of prognostic resources relying on the data of geochemical sampling of bedrock, secondary haloes and dispersion trains have been presented. The method is based on application of the function of relationship of economic concentration factor (C_{ec}) and commercial ore-bearing factor (C_{cob}), dimensional zonality of ore-bearing structures, and phase coefficients during interpretation of the secondary geochemical haloes.

Method of calculation of prognostic resources on the basis of geochemical data uses the same categories as calculation of commercial reserves, namely: commercial grade, ore block volume, and ore-bearing factor. In original exploration data the above categories are difficult to define due to low number of ore samples and low metal concentrations. That is why they are substituted by relative values quantitatively connected to parameters of commercial mineral deposits. This is carried out through the following operations involving objective data.

1. A portion of commercial concentration of an element in a sample is determined by normalizing laboratory analyses data on minimal commercial content of the element taken by the world (or regional) estimations. Obtained values are economic concentration factors (C_{ec}).

2. An area of ore-bearing block is determined in a contour of numerical values of economic concentration factors of sought-for metal approximated to a unity (tenth fractions of a unit). The depth of prognosis for steeply dipping ore-bearing structures depends on technologically available depth of mining for deposits of certain type. As long as chemical-and-density spatial differentiation of elements during ore-forming process happens generally in the same way as in the Earth's crust formation, elements with large atomic volume are pushed aside to ore-bearing structure's margins, but elements with most close packing of atoms accumulate in the central part of the structure. Therefore, ore-bearing block is often surrounded by a halo of "periphery" elements.

3. Commercial ore-bearing factor (C_{cob}) of a block is found as a shared ratio of areas with above break-even grade (G_{b-e}) and unprofitable grade (in unit fractions). To do that algorithm of connection of economic concentration factor and commercial ore-bearing factor is determined on the basis of a density variogram of metal concentrations within the ore block contour. Generally, it is described by a function characteristic of elastic properties:

$$fc_{cob}(C_{ec}) = (C_{ec} / C_{cob}) \times (dC_{ec} / dC_{cob}).$$

This dependence allows determination of ore-bearing factor based on a prescribed value of economic concentration factor.

Prognostic resources are determined using generally accepted formula of commercial reserves calculation. However, instead of average metal content in a halo we use adopted break-even grade and area of an ore-bearing block is corrected by a value of commercial ore-bearing factor at a prescribed value of economic concentration factor:

$$Q = (S \times C_{cob}) \times H \times d \times G_{b-e},$$

Where Q — Prognostic resources of a metal, kg;

S — Area of a potential deposit, m²;

C_{cob} — Commercial ore-bearing factor, equal $C_{cob} = fc_{cob}(C_{ec})$;

H — Depth of mining of a potential deposit, m;

d — Volume weight of ore, t / m³;

G_{b-e} — Prescribed break-even grade of a metal kg / t.

Key words: prognostic resources, ore-bearing factor, concentration factor.

Резюме

Излагаются основы нового метода оценки прогнозных ресурсов по результатам геохимического опробования коренных пород, вторичных ореолов и потоков рассеяния. Метод основан на использовании: функции связи коэффициентов промышленной концентрации и промышленной рудоносности, пространственной зональности рудоносных структур, фазовых коэффициентов при интерпретации вторичных геохимических ореолов.

Метод вычисления прогнозных ресурсов по геохимическим данным использует те же категории, что и подсчет промышленных запасов, а именно: промышленное содержание, объем рудного блока, коэффициент рудоносности. Так как в исходных поисковых данных из-за малого числа рудных проб и низкого содержания металла указанные категории определить невозможно, вместо них их вводятся относительные величины, количественно связанные с параметрами промышленных месторождений. Для этого выполняются следующие операции, использующие объективные данные.

1) Доля промышленного содержания элемента в пробе определяется путем нормирования результатов лабораторных определений на минимально промышленное содержание элемента, принятое по мировым (или региональным) оценкам. Полученные величины называются коэффициентами промышленной концентрации.

2) Доля площади рудоносного блока определяется в контуре численных значений коэффициентов промышленной концентрации искомого металла, максимально приближенных к единице (десятые доли единицы). Глубина прогнозирования для крутопадающих рудоносных структур определяется технологически доступной глубиной отработки месторождений данного типа. Так как химико-плотностная пространственная дифференциация элементов в процессе рудообразования, в общем, происходит так же, как и при образовании земной коры в целом, элементы с большим атомным объемом и низким потенциалом ионизации оттесняются на окраины рудоносной структуры, а в центральной ее части накапливаются элементы с максимально плотной упаковкой атомов и высоким потенциалом ионизации. Поэтому рудоносный блок бывает окружен ореолом «периферийных» элементов.

3) Коэффициент промышленной рудоносности блока определяется как долевое соотношение площадей с содержанием металла выше минимально промышленного и непромышленной его части (в долях единицы). Для этого на основе вариограммы плотности распределения содержаний в контуре рудоносного блока определяется алгоритм связи коэффициентов промышленной концентрации и промышленной рудоносности. В общем случае она выражается функцией, обладающей эластичными свойствами: $f_{K_{Sp}}(K_{Cp}) = (K_{Cp}/K_{Sp}) * (dK_{Cp}/dK_{Sp})$.

Выявленная зависимость позволяет определить величину коэффициента рудоносности по заданному численному значению коэффициента промышленной концентрации.

Прогнозные ресурсы определяются по общепринятой формуле подсчета промышленных запасов. Однако вместо среднего содержания металла в ореоле в формуле используется принятое минимальное промышленное содержание, а площадь рудоносного блока корректируется на величину коэффициента промышленной рудоносности при заданном значении коэффициента промышленной концентрации:

$$Q = (S * K_{Sp}) * H * d * C_p,$$

где Q – прогнозные ресурсы металла, кг;

S — площадь потенциального месторождения, м²;

K_{Sp} – коэффициент промышленной рудоносности, равный $K_{Sp} = f_{K_{Sp}}(K_{Cp})$;

H — глубина отработки прогнозируемого месторождения, м;

d — объемный вес руды, т/м³;

C_p – заданное минимальное промышленное содержание металла, кг/т.

От редактора

Раскрытая Вами книга является попыткой по-новому подойти к решению весьма актуальной для прикладной геохимии, да пожалуй, и всех геологоразведочных работ, проблемы выявления, интерпретации и оценки аномальных геохимических полей (АГХП), включая такой важнейший аспект, как количественная оценка прогнозных ресурсов низких категорий. Автор этой монографии – докт. г.-м. н. Игорь Иванович Силин имеет для этого большой опыт производственных и научно-исследовательских работ и использует для решения поставленной проблемы достаточно обширную собственную и литературную информацию.

Конечно, ряд отправных положений автора весьма дискуссионны. Так его правильная критика применяемых на практике методов оценки фоновых и аномальных содержаний химических элементов (х.э.), приводит его к весьма спорному выводу о нецелесообразности подобного подхода при проведении всех геохимических работ. Автор монографии почему-то не учитывает что, во-первых, оценку фона и аномальных содержаний можно (и нужно) проводить другими методами, и во-вторых, что широкое применение в настоящее время компьютерных методов, вообще решает задачу выявления АГХП без расчетов фоновых и аномальных содержаний. Правильно указывается на трудности ГХР, связанные с использованием разнородной геохимической информацией, но и предлагаемый в монографии подход эту проблему также не решает. Абсолютно надуманной представляется критика интегральных показателей, в которых объединены химические элементы с разными векторами зональности. Если такие примеры есть, то это свидетельствует только о безграмотности их авторов. Дискуссионных утверждений много, их примеры можно было бы продолжить, но предоставим это читателю.

Весьма дискуссионным является использование для выявления разноранговых АГХП минимально промышленных содержаний каждого х.э. в неких стандартных месторождениях, что является основой предлагаемого в книге подхода. Известно, что эта величина является переменной и зависит от множества факторов. Однако это в работе не обсуждается.

Тривиальным является утверждение, что критерием истины является практика, однако именно отсутствие достаточного числа примеров, где было бы сопоставление результатов предлагаемого и традиционного подходов с результатами проверки оцененных по геохимическим данным АГХП только добавляет сомнений в большей эффективности предлагаемого в монографии подхода.

Вместе с тем, монография содержит обширные данные по фундаментальным характеристикам х.э., по структуре, характеристикам и соотношениям АГХП различного ранга, по ассоциациям х.э. привноса и выноса, по методике создания математических моделей АГХП и их последующего использования для оценки прогнозных ресурсов и др. С учетом этого она, несомненно, вызывает значительный интерес.

Необходимость этой монографии, по мнению редактора, определяется еще тем, что при существующем в настоящее время кризисе прикладной геохимии, очень необходимы непривычные, неудобные, даже, возможно, абсурдные взгляды на привычные застывшие подходы, т.к. эти совершенно новые взгляды заставляют думать, критиковать, приводить аргументы против и, в конечном счете, предложить что-то более обоснованное или принять изложенный подход.

Доктор геол-мин. наук А.А. Головин (ИМГРЭ)

ВВЕДЕНИЕ

Побудительным мотивом к написанию настоящей книги послужило отмечаемое в последнее десятилетие понижение эффективности поисковой геохимии. Анализ ситуации показывает, что помимо объективных причин, связанных с исчерпанием фонда легко открываемых месторождений, снижение эффективности поисков связано также с консервативностью производственных организаций, не успевающих адаптироваться к новым технологиям, использующим современные методы анализа геохимических проб и камеральной обработки результатов, основанной на ГИС-технологиях и специализированных программных комплексах. Переход от преимущественно ручной обработки результатов анализа проб к компьютерным технологиям содержит ряд трудностей, связанных с необходимостью специальной подготовки не только геохимиков, но и геологов. Широкое использование математического аппарата зачастую превышает возможности геохимика-геолога в отношении интерпретации природы десятков и сотен ассоциаций (кластеров, компонент и т. п.), выделенных в результате компьютерной обработки, так как изучение вещественного состава геохимических аномалий по времени традиционно отстает.

Другой вероятной причиной снижения эффективности поисков является преимущественное использование приближенно-количественного спектрального анализа, неравноточного в отношении определения содержания разных элементов. Совместная математическая обработка результатов содержания элементов, определенных с разной чувствительностью и точностью, разным интервалом значений на декаду и т. д., выявляет неоднородности выборки проб, никак не связанные с пространственным распределением элементов. Воспроизводимость данных свидетельствует лишь о малых случайных погрешностях, но ничего не говорит об их правильности, а отсюда однозначность построения каких-либо моделей вовсе не свидетельствует об адекватном отражении природных закономерностей. Результаты таких анализов пригодны для вариационного статистического анализа, но чреваты серьезными ошибками при использовании тонкого математического аппарата, основанного на теории пространственных функций, используемого в программных комплексах нового поколения. Наконец, дискуссионным, на наш взгляд, является использование поисковых критериев, привнесенных из практики анализа геофизических полей, основанных на выделении геохимического фона, так как между геофизическими и геохимическими полями имеются существенные различия.

В период становления прикладной геохимии большие территории были покрыты литохимическими съемками разного масштаба и вида часто профессионально неподготовленными исполнителями. На основе аналитических результатов низкого качества были выделены геохимические аномалии неопределенной природы и ранга. В архивах геологических ор-

ганизаций и по сей день содержится огромный фонд учтенных геохимических аномалий, природа и перспектива использования которых не ясны. Несомненно, что часть этих аномалий является поисковым резервом промышленных регионов, остальные — составной частью аномальных геохимических полей (АГХП) низкого ранга (или нерудной природы) и к рудным месторождениям не имеют прямого отношения.

Быстро развивающиеся аналитические и компьютерные технологии сделали геохимические поиски более технологичными. Благодаря накопленному опыту появились новые модели АГХП, приемы интерпретации, оценки и разбраковки аномалий. Изучение новых технологий, несомненно, позволит более успешно решать сложные задачи интерпретации и оценки геохимических аномалий. С применением компьютерных технологий стало возможным переосмыслить содержание ретроспективной базы данных с целью ее повторной интерпретации на основе новых научно-методических и технологических разработок.

Книга посвящена описанию нового метода прогнозирования ресурсов по данным геохимического опробования на стадии геологической съемки и поисков. В основе формальной составляющей метода используются параметры подсчета промышленных запасов и аппарат теории случайных функций, разработанный Ж. Матероном для оценки месторождений [47]. Но если Ж. Матерон ставил задачу определение среднего содержания и запаса металла в месторождении, то мы формулируем задачу несколько иначе: какое вероятное количество металла с заданным минимально промышленным содержанием содержится в рудоносной структуре ранга рудный район (РР), рудный узел (РУ), рудное поле (РП), рудное месторождение (РМ). Описана также методика подготовки численных геохимических прогнозных моделей.

Основные понятия, использованные автором в настоящей работе, следующие.

Геохимическое поле – физико-химическое (квантовое) поле земной коры, отраженное в пространственном распределении концентраций химических элементов.

Аномальное геохимическое поле – геохимическое поле с явно выраженными признаками перераспределения совокупности химических элементов вследствие ореолообразующих геохимических процессов.

Геохимический ореол – внешняя оторочка рудного тела (месторождения), состоящая из непромышленных скопления рудного элемента и элементов-спутников.

Вторичный геохимический ореол и (или) поток рассеяния – полиэлементный шлейф, возникающий возле рудных месторождений в результате эрозии и экзогенных геохимических процессов.

Геохимическая зональность – пространственное смещение центров накопления отдельных элементов относительно друг друга и общего центра скопления рудного вещества.

Прогнозные ресурсы – вероятное количество металла в потенциальном рудоносном объекте, оцененное по параметрам геохимического ореола или потока рассеяния.

Математическая модель объекта — это математическое представление реальности, при котором изображается не сам объект, а его свойства.

Перечень аббревиатур и обозначений

АГХП – аномальное геохимическое поле;

АГХП РР — аномальное геохимическое поле рудного района;

АГХП РУ — аномальное геохимическое поле рудного узла;

АГХП РП — аномальное геохимическое поле рудного поля;

АГХП РМ — аномальное геохимическое поле рудного месторождения;

АГХП РТ — аномальное геохимическое поле рудного тела;

K_m – коэффициент минерализации равен отношению числа аномальных проб к общему проб числу в выборке;

C_p – минимальное промышленное содержание;

K_{cp} – коэффициент промышленной концентрации, равен отношению реального содержания элемента в пробе к минимально промышленному содержанию;

K_{sp} – коэффициент промышленной рудоносности площадной, равен отношению числа проб с промышленным содержанием к общему числу проб в выборке;

K_{vp} — коэффициент промышленной рудоносности объемный; равен отношению объема промышленной части блока к объему всего оцениваемого блока;

K_Q — коэффициент промышленных запасов, равен отношению промышленных запасов к прогнозным запасам (или ресурсам) оцениваемого объекта.

1. НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Классификация методов прогнозирования

Прогнозирование – это способ теоретического и практического действия, направленного на разработку прогнозов. Различаются простые и комплексные методы прогнозирования. Простые методы прогнозирования неразложимы на еще более простые методы, а комплексные — состоят из взаимосвязанной совокупности нескольких простых [25, 38, 44, 45, 95, 98].

В настоящее время наряду со значительным числом опубликованных методов прогнозирования известны многочисленные способы их классификации, но единой, полезной и полной классификации еще не создано. На современном этапе трудно предложить единую классификацию, в равной степени удовлетворяющую двум основным целям: обеспечению

процесса изучения и анализа методов и обслуживанию процесса выбора метода при разработке прогнозов объекта.

Существуют два основных типа классификации: последовательная и параллельная. Последовательная классификация предполагает вычленение частных объемов из более общих. Параллельная классификация предполагает сложное информационное основание, состоящее не из одного, а из целого ряда признаков. Основной принцип такой классификации — независимость выбранных признаков (например, геологические, геофизические, геохимические и др.), каждый из которых существен, все вместе одновременно присущи предмету и только их совокупность дает исчерпывающее представление об объекте прогнозирования.

Последовательная классификация имеет наглядную интерпретацию в виде некоторого генеалогического дерева, охватывает всю рассматриваемую область в целом и определяет место и взаимосвязи каждого класса признаков в общей системе (например, формация→ порода→ минерал или рудный район→рудный узел→рудное поле т.д.) поэтому она позволяет методически более стройно представлять классифицируемую область знаний об объекте. Каждый уровень классификации характеризуется своим классификационным признаком. Элементы каждого уровня представляют собой наименования принадлежащих им подмножеств элементов ближайшего нижнего уровня. Элементы нижнего уровня представляют собой наименование узких групп конкретных методов прогнозирования, которые являются модификациями или разновидностями какого-либо одного, наиболее общего из них.

Последовательная классификация является открытой, так как представляет возможность увеличивать число элементов на уровнях и наращивать число уровней за счет дальнейшего дробления и уточнения элементов последнего уровня.

На первом уровне все методы делятся на три класса по признаку «информационное основание метода».

Фактографические методы базируются на фактически имеющемся информационном материале об объекте прогнозирования и его прошлом развитии.

Экспертные методы базируются на информации, которую поставляют специалисты-эксперты в процессе систематизированных процедур выявления и обобщения этого мнения.

Комбинированные методы выделены в отдельный класс, чтобы можно было относить к нему методы со смешанной информационной основой, в которых в качестве первичной информации используются фактографическая и экспертная. Например, при проведении экспертного опроса участникам представляют цифровую информацию об объекте или фактографические прогнозы, либо, наоборот, при экстраполяции тенденции наряду с фактическими данными используют экспертные оценки.