



УДК 553.062/067:550.8.01

© 2008

В. Н. Воеводин

## Принципы и общая схема прогнозирования рудных месторождений

(Представлено академиком НАН Украины Е. А. Кулишом)

*The prognosis process is differentiated for different mineralization types and for different rank objects of prognosis. The general structure of prognosis consists of a consecutive chain of the following elements: the object of prognosis → systematization (classification) of ore objects → → creation of geological search models of the prognosis objects → elucidation of forecast-search criteria → working out the prognosis procedures (the methods of investigation). The prognosis of the mineralization is conducted on all stages of geological and prospecting works and is subdivided into regional, middle-scale, large-scale, and local prognoses. The hierarchical rank of an object of the prognosis is changed depending on the stages of geological and prospecting works. It is necessary to create independent geological and genetic models for each object of the prognosis.*

Рудные месторождения характеризуются большим разнообразием. Даже месторождения одних и тех же металлов (например Au, W) встречаются в различных генетических типах оруденения (магматических, гидротермальных, листовенитах, скарнах, такритах и пр.), ассоциируют с широким спектром магматических пород, локализуются в структурно-формационных зонах различного геотектонического режима развития. Оруденение других металлов (Sn, Sb, Hg и др.) проявляет вполне определенную избирательность как по приуроченности к магматическим породам различного состава, так и по конкретной геолого-структурной обстановке. Обусловлено это тем, что ряд элементов в силу своих геохимических свойств имеет широкий диапазон физико-химических условий кристаллизации. Многие рудные элементы проявляют активные геохимические взаимосвязи с другими элементами и образуют комплексные месторождения. Однако взаимосвязи эти не постоянны и проявляются только во вполне определенных геологических условиях.

Например, оловянно-вольфрамовые месторождения типичны для кварцево-грейзеновых раннеорогенных плутоногенных рудных объектов. В последующем, в среднеорогенный этап при гипабиссальном магматизме, геохимические связи олова и вольфрама ослабевают (вольфрам лишь попутный компонент в касситерит-силикатных месторождениях), однако усиливаются связи вольфрама с молибденом. Взаимосвязи олова и вольфрама затуха-

ют в позднеорогенный-активизационный этап при формировании континентальных вулканоплутонических комплексов. В таких условиях возникают самостоятельные халцедоново-кварцевые, кварцево-сульфидные оловянные и вольфрамовые месторождения, иногда с минералогической примесью другого элемента, которые встречаются даже в пределах одних и тех же структур. Для этих структур характерны взаимосвязи: молибдена с медью, ураном; олова с флюоритом или полиметаллами, золота с серебром, полиметаллами. В природе комплексные месторождения имеют широкое распространение. В рудноформационном анализе довольно часто используются комплексные наименования для конкретных формаций: олововольфрамовая, медно-молибденовая, вольфраммолибденовая, золотовольфрамовая, золотосеребряная, оловополиметаллическая и т. д., что указывает на минералого-геохимическую специфику вещественного состава и, соответственно, на особенности геолого-структурной позиции их локализации.

В истории развития подвижных областей в эндогенных условиях оруденение каждого элемента образует собственные эволюционные ряды разнотипных месторождений — рудных формаций. В этих формациях, в связи со сменой геотектонических условий развития, изменяются глубинность рудообразования, рудогенерирующий магматизм, геолого-структурная позиция оруденения, вещественный состав, затухают геохимические связи с одними элементами и возрастают с другими.

Следовательно, общее прогнозирование оруденения того или иного металла в любых формах его проявления на любых территориях абсолютно бесперспективно и бессмысленно. Оправданным может быть только прогнозирование вполне определенных конкретных генетических, формационных, вещественных, морфологических типов оруденения каждого элемента, так как комплекс прогнозно-поисковых геолого-структурных, магматических, минералого-геохимических критериев для каждого рудного типа будет строго индивидуален.

Например, раннеорогенная плутоногенная вольфрамит-касситерит-кварцевая формация приурочена к структурам ранней консолидации, ассоциирует с кислыми лейкократовыми гранитами, проявляет активные геохимические взаимосвязи с оловом, имеет простой лиофильный минеральный состав и крупнокристаллический характер оруденения. Однако в последующем эти условия изменяются. Среднеорогенное гипабиссальное вольфраммолибденовое оруденение локализуется как в антиклинальных, так и синклинальных структурах вдоль продольных, диагональных и поперечных ослабленных зон, гранитный магматизм часто имеет субщелочной уклон, затухают взаимосвязи с оловом и возрастают с молибденом, минеральные парагенезисы среднекристаллические, мало и умеренно сульфидные. Для позднеорогенного вольфрамполиметаллического оруденения типичен близповерхностный облик, приуроченность к континентальным вулканоплутоническим комплексам, наложенным на все пликативные структуры, ассоциация с гранитоидами повышенной основности, минеральные парагенезисы тонко- и мелкозернистые с большим количеством сульфидов свинца, цинка, меди. В различных формах проявления это касается и оруденения других металлов.

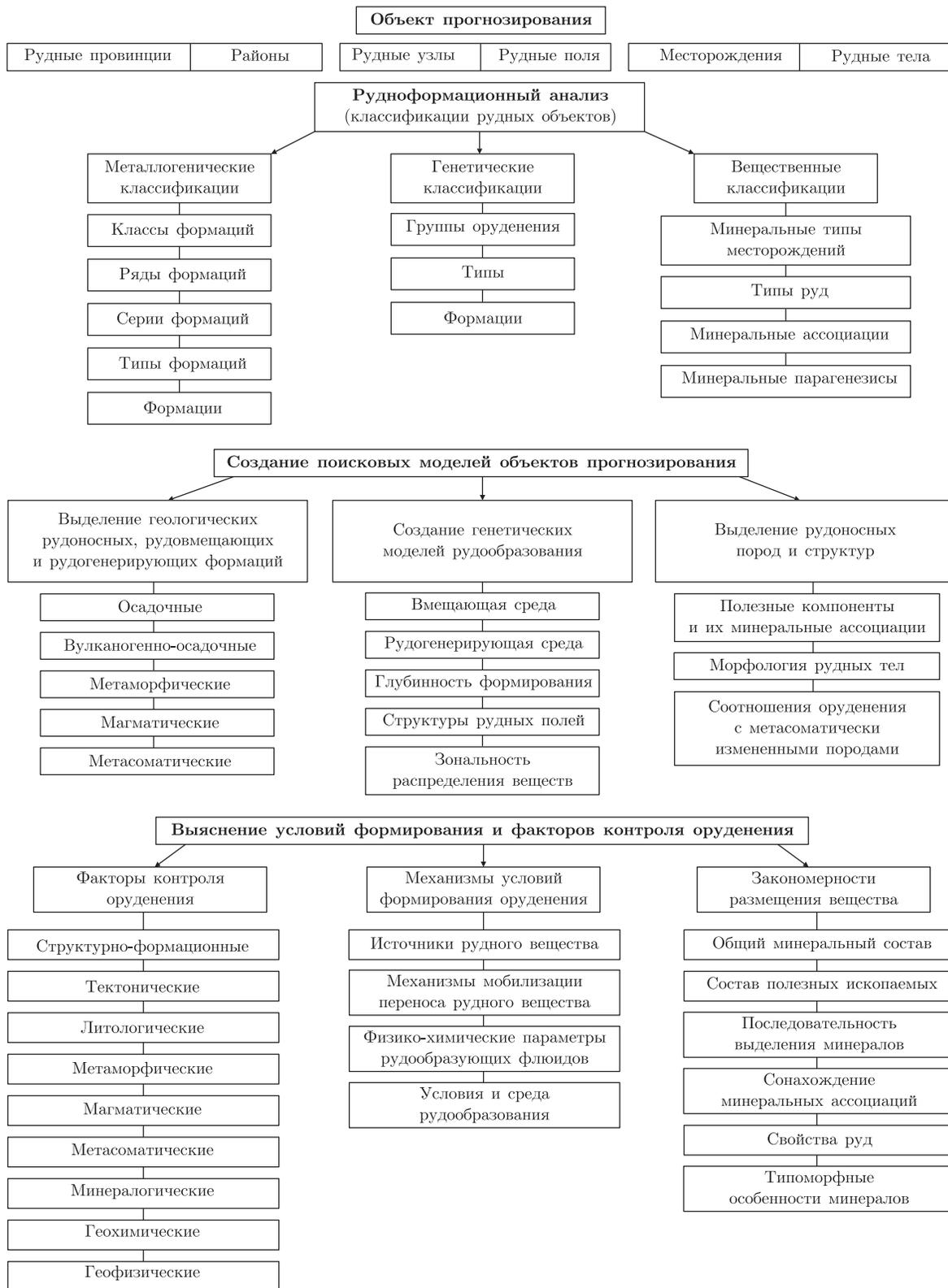
Общую структуру прогнозирования оруденения можно представить в виде последовательной цепи элементов: объект прогноза → систематика (классифицирование) рудных объектов → создание поисковых моделей объектов прогнозирования → выяснение прогнозно-поисковых критериев → разработка прогнозных процедур (методов исследования). Эффективность прогнозирования, т. е. нормальное функционирование названной цепи зависит от состояния каждого звена [1].

Прогнозирование оруденения проводится на всех стадиях геологоразведочных работ (ГРР). В зависимости от стадийности работ изменяется и иерархический ранг объектов прогнозирования: при региональном и среднемасштабном прогнозировании — это рудные районы, узлы; при крупномасштабном — рудные поля, месторождения, при локальном — участки месторождений, фланги, отдельные рудные тела, рудные столбы и обогащенные участки рудных тел. Для каждого иерархического ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов, которые в последующем смогут выступать в роли прогнозно-поисковых критериев. Разработка каждой поисковой модели различного иерархического ряда, а значит, и прогнозно-поисковых критериев должна осуществляться соответствующим вполне определенным комплексом методов. Большое формационное, генетическое, вещественное разнообразие оруденения различных металлов с учетом ранговости их объектов обуславливает многочисленность поисковых геолого-генетических моделей.

Эффективность прогнозирования будет находиться в прямой зависимости от полноты и разносторонности построения поисковых моделей разноранговых объектов прогнозирования, а также от степени надежности разработанных для каждой поисковой модели прогнозно-поисковых факторов. К сожалению, довольно часто прогнозирование осуществляется логико-интуитивным путем без должного учета ранга объекта прогнозирования и специфики поисковой модели. Привлекаемые иногда некоторые отдельные методы научного прогнозирования не в состоянии в таких случаях обеспечить надежный результат. Негативные последствия нарушения стадийности ГРР и недоучета ранговости поисковых объектов наглядно иллюстрируется на многих золоторудных объектах Украинского щита (Балка Широкая, Майское и др.). Не завершив выделения и изучения рудных зон (требования поисковой и поисково-оценочной стадий), а затем конкретных рудных тел, были начаты одновременно работы по увязке рудных зон и тел, что явно не могло дать положительных результатов [2].

Положенные в основу методов прогнозирования закономерности справедливы только для некоторых (часто недостаточно четко сформулированных) условий (типов месторождений, видов полезных ископаемых, форм рудных тел и т. д.), в связи с чем они имеют ограниченную область применения. Тот или иной метод прогнозирования разрабатывается на конкретных месторождениях и опирается на свою геолого-генетическую модель рудного объекта. Поэтому зачастую универсализация метода и его механическое перенесение на другие объекты чреваты серьезными ошибками. Следовательно, требуется идентификация рудных объектов в рамках определенных классификаций. В настоящее время основным методом систематики является рудноформационный анализ. Необходимо также создание идеализированных обобщенных моделей месторождений основных промышленных рудных формаций. Для целей крупномасштабного и локального прогнозирования в рамках рудных формаций требуется разработка более конкретных моделей для определенных генетических, минеральных, морфологических типов.

Следовательно, в первую очередь необходимо четкое определение объекта прогнозирования. Следует отметить, что ни для одного металла (полезного ископаемого) нет универсальной общепринятой рудноформационной классификации, способной обеспечить прогнозирование оруденения на всех стадиях ГРР. В зависимости от поставленной конкретной цели и задач прогнозирования будут существенно изменяться факторы, определяющие геологическую модель объекта прогнозирования. Предлагаемая структура общей схемы прогнозирования отражена на диаграмме.





Рудноформационный анализ, как неотъемлемая часть общегеологического формационного анализа, включает в себя несколько различных, нечетко разграниченных научных направлений: вещественное, генетическое, структурное, металлогеническое. Эти направления имеют свои, отличные друг от друга, объекты исследований, понятийную базу, методики исследований, различное назначение и сферу применения, и опираются на свою теоретическую основу.

В связи с этим можно выделить несколько категорий классификаций: *вещественные, генетические, металлогенические* [3]. Для вещественных классификаций рудная формация (минеральный тип или формация руд) представляет ассоциацию руд близкого вещественного состава с одинаковым набором минеральных ассоциаций с аналогичной последовательностью их формирования. Для генетических классификаций рудная формация (генетический тип) — сообщество рудных объектов близкого внутреннего строения, обусловленного аналогичными условиями и механизмом формирования в сходных геологических условиях. В металлогеническом направлении рудная формация объединяет оруденение близкого вещественного состава, сформировавшееся в связи с той или иной геологической (магматической) формацией в конкретной геолого-структурной обстановке в определенные этапы геотектонического развития территории. В металлогеническом направлении особые трудности возникают при систематике рудных объектов в докембрийских структурах, так как первичные вещественные, геологические, тектонические признаки в древних структурах затушевываются последующими метаморфическими процессами. Структурные классификации не имеют своей таксономической самостоятельности, поскольку они крайне необходимы и входят во все описанные выше категории.

Следовательно, систематизация (классифицирование) рудных объектов для целей прогнозирования не должна быть шаблонной. В каждом рудном районе, узле и отдельно взятом месторождении, в рамках даже хорошо известной и широко распространенной абстрактной

рудной формации, есть свои специфические отличительные особенности. Поэтому выбор объектов прогнозирования будет определяться целью, обусловленной стадийностью ГРР, а их классифицирование — индивидуальными специфическими вещественными, генетическими, геологическими особенностями. Т.е. для каждого конкретного случая идентификация исследуемого объекта будет по различным признакам не совпадать с известными формациями.

Определенные свойства месторождений и рудных тел в случае их устойчивости и повторяемости переводятся в ранг закономерностей, получая теоретическое обоснование или являясь продуктом эмпирических обобщений, что позволяет построить модель искомого объекта. Все эти свойства можно разделить на три основные группы: *вещественные*, основывающиеся на установлении зональных явлений в распределении вещества; *структурные*, опирающиеся на анализ форм локализации рудного вещества; *геологические*, использующие специфические свойства геологического пространства рудоотложения. Причем в зависимости от ранга прогнозирования поисковые модели используют различные комплексы геологических факторов.

При региональном и среднемасштабном прогнозировании необходима формационная классификация рудных объектов и выделение помимо моноэлементных рудных формаций — типов, рядов, серий, классов формаций оруденения геохимически близких элементов. Для создания их поисковых моделей необходимо выделение геологических рудоносных, рудовмещающих и рудогенерирующих формаций (осадочных, вулканогенно-осадочных, метаморфических, магматических, метасоматических). С этой целью проводится выяснение факторов контроля оруденения: структурно-формационных, тектонических, литологических, метаморфических, магматических, метасоматических, минералогических, геохимических, геофизических. Для этого применяется вполне определенный набор методов исследований: накопление банка данных, составление регистрационных, структурно-формационных карт, карт геофизических полей, геохимических аномалий, специализированных структурно-тектонических (разрывных нарушений, даек), минералогических карт, карт метасоматитов, эрозийного среза и т.п.

При крупномасштабном прогнозировании (рудные поля, месторождения), помимо учета формационной принадлежности оруденения, необходимо выделение генетических типов и генетических групп оруденения. В связи с этим генетические модели оруденения учитывают вмещающую среду, рудогенерирующую среду, глубинность формирования, структуры рудных полей, зональность распределения вещества. Для этих целей проводится выяснение механизма и условий формирования оруденения с учетом гипотетических источников рудного вещества, механизма его мобилизации и переноса, физико-химических параметров рудообразующих флюидов, условий и среды рудоотложения. И здесь привлекается совершенно иной арсенал прогнозных процедур: изучение минералого-геохимической зональности, зональности рудоносных метасоматитов; морфологии, физических и химических свойств минералов, термобарогеохимических параметров; зональности геохимических показателей руд и эндогенных ореолов; структурных форм локализации рудного вещества; рудогенерирующих особенностей магматических образований; литологических факторов контроля оруденения и т.д.

Локальное прогнозирование (участки месторождений, рудные тела, обогащенные участки рудных тел) использует преимущественно вещественные классификации с учетом формационной и генетической принадлежности оруденения. Выделяются минеральные типы месторождений, типы руд, минеральные ассоциации. При создании поисковых моделей

проводится выделение рудоносных пород и структур, учитываются попутные полезные компоненты и их минеральные ассоциации, морфология рудных тел, соотношение с метасоматически измененными породами. Для этого необходимо выяснение закономерностей размещения вещества, включающее изучение общего минерального состава, всех полезных компонентов, последовательности выделения минералов, сонахождения минеральных ассоциаций, участков их концентрации, свойств руд, типоморфных особенностей минералов.

Таким образом, в зависимости от стадийности ГРР изменяются объекты прогнозирования. Для каждого ранга объектов прогнозирования необходимо создание самостоятельных моделей, опирающихся на учет вполне определенных факторов. Разработка поисковых моделей различных рангов прогнозирования имеет свой набор исследовательских методов. При региональном и среднемасштабном прогнозировании доминирующими являются формационно-геологические и геолого-структурные, при крупномасштабном — геолого-генетические, при локальном — структурные и вещественные. Процесс прогнозирования весьма дифференцирован как для различных типов оруденения, так и для разноранговых объектов прогнозирования. А это предполагает необходимость разносторонности изучения рудных объектов с учетом их иерархической ранговости для последующего целенаправленного прогнозирования.

1. Воеводин В. Н., Кулиш Е. А., Соловьев В. А. Методические и теоретические проблемы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – № 7. – С. 149–153.
2. Дыщук М. Ю. О состоянии проблемы “Золото Украины” // Регион 2003. – Стратегия оптимального розвитку. – Харьков: Б. и., 2003. – С. 228–231.
3. Воеводин В. Н., Кулиш Е. А. Проблема рудноформационного анализа эндогенного золота в Украине // Мінерал. ресурси України. – 2001. – № 2. – С. 10–14.

*Харьковский национальный университет  
им. В. Н. Каразина*

*Поступило в редакцию 06.06.2007*