

УДК 553.04

Ю.Б.МАРИН, Г.Т.СКУБЛОВ, Ю.Л.ГУЛЬБИН

ПРИНЦИПЫ И МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕДКОМЕТАЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ, АССОЦИИРУЮЩЕГО С ГРАНИТОИДНЫМ МАГМАТИЗМОМ

Проанализированы состояние проблемы и подходы к прогнозированию редкометального оруденения, обсуждены принципы и методика прогнозирования, показано, что прогнозирование эндогенных, в том числе редкометальных, месторождений должно базироваться на системном анализе, моделировании и геокибернетическом (количественном) подходе.

Исследователями признано [7, 8, 12, 14, 15], что прогнозирование должно предшествовать каждой стадии геолого-разведочного процесса и обеспечивать выбор наиболее эффективных направлений исследований в соответствии с поставленными задачами. Вслед за Д.В.Рундквистом, В.В.Марченко, В.В.Ивановым и др. [7-9, 11, 12, 15] мы считаем, что прогнозная оценка в наиболее общем виде представляет собой многоступенчатую и многоэтапную систему, иллюстрируемую таблицей. Геологическое прогнозирование на различных этапах методологически остается принципиально неизменным, меняются лишь масштаб, использованная исходная информация и круг последовательно решаемых задач. Так, от мелко- и среднемасштабных к детальным исследованиям их можно расположить в такой последовательности: установление потенциальной рудоносности территории → выявление оруденения и установление его формационного типа → определение уровня эрозийного среза рудного объекта → установление масштаба оруденения → определение качества руд.

Как отмечает А.И.Кривцов [7], повышение эффективности прогнозирования, основывающегося на результатах геолого-геофизического, геолого-геохимического, аэрокосмогеологического и других видов специализированного картирования, обуславливает создание комплекса требований к картографическим материалам; технологических схем, отвечающих этим требованиям, а также технических комплексов и средств, обеспечивающих сбор, накопление и обработку исходной информации. Прогнозированию редкометальных (Mo, Be, W, Sn и др.) месторождений посвящены многочисленные работы [1, 3, 5, 7-9, 11, 12, 14, 15], однако ряд вопросов регионального (Р), локального (Л) и детального (Д) прогнозирования требует дальнейшего обсуждения именно с этих позиций. Прежде всего это относится к принципам комплексирования и компьютеризации прогнозных исследований.

Представляется, что прогнозирование эндогенных, в том числе и редкометальных, месторождений должно базироваться на системном анализе, моделировании и геокибернетическом (количественном) подходе.

Макет системы „Прогнозирование редкометалльного оруденения“

Масштаб прогнозирования	Ранг отвечающей этому масштабу территории и ее приблизительные размеры в поперечнике	Прогнозирование		Задачи исследования					Прогнозная оценка	Категория прогнозных ресурсов, выявляемых на данной стадии геолого-разведочных процессов	Принятые решения, рекомендации
		Процесс – полевые и камеральные исследования	Результат – прогноз	1	2	3	4	5			
Мелко- и среднемасштабный (региональный); на картах 1:100 000-1:500 000	Потенциально перспективная зона; Π (10-100), км	Построение карт с привлечением факторов 1, 2, 3, 4, 5	На суммирующей (прогнозной) карте оконтурены потенциально перспективные узлы $A, B, C, D, \dots$	+	++	+	+	+	На основании использования критериев 1, 2, 3, 4, 5, 6, проведена разливировка узлов:	P_3	Провести более детальное прогнозирование в том числе полевые исследования в узле B
Крупномасштабный (локальный); на картах 1:100 000-1:50 000	Потенциально перспективный узел, поле; Π (1-10), км	То же, с факторами 3, 4, 5, 6	То же, намечены перспективные участки I, II, III, IV	-	+	++	++	++	То же, участков, полей: 1-я очередь – I, III 2-я очередь – II, IV 3-я очередь – IV, V	P_2	То же, на участках I, III
Детальный; на картах 1:100 000-1:50 000 (до 1:10 000)	Перспективный участок, рудное тело; Π (0,1-1) км	То же, с факторами 4, 5, 6, 7	То же, выделены перспективные локальные площади 1, 2, 3, 4, 5	-	-	+	++	++	То же, локальных площадей: 1-я очередь – 1, 3 2-я очередь – 2, 4, 6	P_1	Провести детальные поисковые оценочные работы на локальных площадях 1, 3

Примечания: 1. Π – целое число от 1 до 8.

2. Задачи прогнозных исследований: 1 – установление потенциальной рудоносности; 2 – выявление оруденения и установление его типа; 3 – определение уровня эрозийного среза рудного объекта; 4 – установление масштаба оруденения; 5 – определение качества руд. Выделены: главные (++) и второстепенные (+) задачи исследований.

и с н н й а н а и з. Задача прогнозирования оруденения позиций системного анализа решается путем последовательного привлечения принципов комплексирования, картирования, факторизации, аналогии, аномальности.

Принцип комплексирования предусматривает:

а) использование различных методов исследований – геотектонических (1) геофизических (2), структурно-геологических (3), петрографических (4), петрогеохимических (5), минералогических (6);

б) дифференцированный подход к применению этих методов в зависимости от масштаба работ: $P1 \gg L1 > D1$, $P2 \gg L2 > D2$, $P3 \gg L3 > D3$, $P4 \approx L4 \approx D4$, $P5 \approx L5 \approx D5$, $P6 \leq L6 \leq D6$;

в) использование и соблюдение принципа картирования – составляемые серии структурно-геологических, метасоматических, геохимических и минералогических карт должны быть взаимосвязаны и отвечать масштабам работ: 1:200 000, 1:50 000, 1:10 000 и 1:2 000 при прогнозировании соответственных пределах рудных районов (или зон), узлов, полей и рудных тел.

При разработке критериев прогнозирования необходимо повышение роли петрографических, минералогических и геохимических исследований. Первостепенное значение при этом приобретают формационный анализ гранитоидов (редкометальное оруденение связано с гранитами лейкогранит-аляскитовой и субщелочно-лейкогранитовой или фтор-литиевогранитовой формаций [2]), изучение внутреннего строения и петрографических особенностей рудоносных плутонов (оруденение локализуется в эндо-экзоконтактовой зоне, приурочено к куполам и гребням массивов, зонам развития жильных гранитов и аплитов [2, 4]), выявление региональных закономерностей проявления локальных метасоматитов (P3, 4; L4), выделение и изучение зональности до-, син- и пострудных метасоматитов (L4), установление объемной зональности разностадийных околорудных гидротермалитов (L4); определение региональных кларков химических элементов, установление петрогеохимической специализации гранитоидов, выделение зон перераспределения элементов, выявление вторичных ореолов и потоков рассеяния, изучение геохимического районирования (P5); определение параметров и факторов распределения элементов в главнейших типах пород, метасоматитах, рудах и в минералах, составление специализированной полиэлементной геохимической карты, установление геохимической зональности рудного объекта и выявление геохимических индикаторов рудоносности (L5, D5); топоминералогический анализ имеющихся данных по рудоносным гранитоидам, околорудным метасоматитам и рудам, выявление шлиховых ореолов (P6); изучение количественных соотношений типоморфных минералов метасоматитов и руд в объемной модели зональности изучаемого объекта (L6); анализ типоморфных особенностей минералов как индикаторов уровня эрозивного среза рудных тел, интенсивности сруденения и качества руд, построение объемных моделей распределения элементов-индикаторов в главнейших минералах месторождения (L6 < D6).

При анализе полученной информации целесообразно использование принципа факторизации, который базируется на статистически устойчивых связях

между признаками системы и предусматривает возможность выделения геологических факторов локализации оруденения, факторов зональности и других с использованием математического аппарата классификации объектов [16].

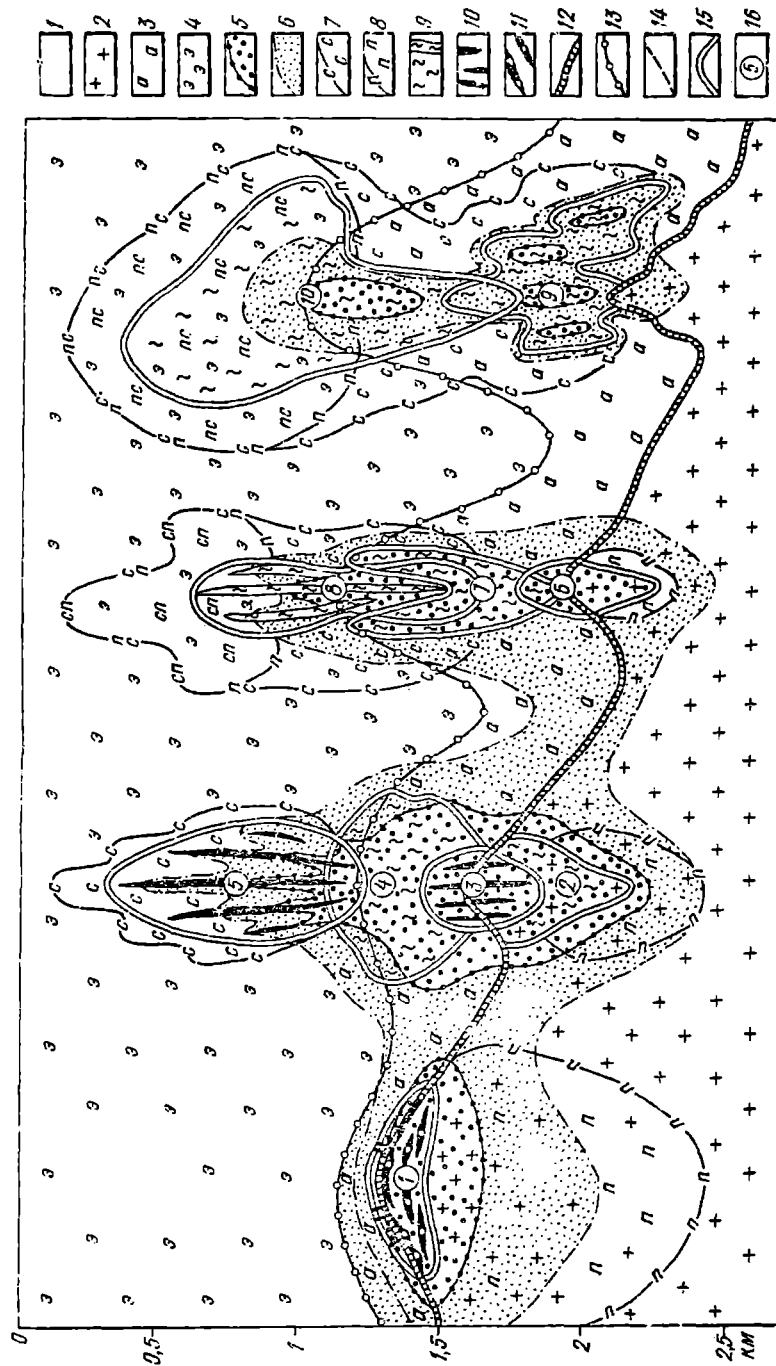
На следующем этапе исследований подключается принцип аналогии, который предполагает близость размеров прогнозных ресурсов изучаемого и эталонного рудных объектов при условии близости различных параметров, характеризующих эти объекты. Однако принцип аналогии может соблюдаться не всегда, поскольку установлено, что уникальные промышленные месторождения и рудные объекты новых формационных типов резко отличаются от эталонных месторождений по многим признакам (проявление принципа аномальности, по Г.Р.Бекжанову и А.Н.Бугайцу [1], или исключительности, по А.Г.Харченко [17]).

М о д е л и р о в а н и е. Основным принципом моделирования при прогнозных исследованиях является принцип системности, являющийся как бы связующим звеном системного анализа и моделирования. Процесс моделирования будет малоэффективным, если четко не сформулированы задачи прогнозирования. Из ранее названных задач (см. таблицу) в зависимости от масштаба работ и вида прогнозирования обычно решаются две-три основные задачи и несколько частных. В соответствии с принципом целенаправленности основное внимание уделяется вопросам создания прогнозных моделей, выделению критериев прогнозирования и разработке методов исследований.

Собственно процесс моделирования начинается с определения объекта исследований, его границ и признаков [4]. При региональных исследованиях прогнозируются рудные зоны или узлы, при локальных – рудные поля и месторождения, при детальных – рудные тела (реже месторождения). Границы объектов обычно выводятся по внешнему контуру развития гидротермально-метасоматических образований [4, 10, 13]. При выделении объектов используется вся имеющаяся геологическая информация (принцип полноты изучения), ранжируемая по степени ее значимости. При анализе информативных признаков прогнозируемого оруденения обычно устанавливается их тесная взаимосвязь и сопряженность (например, особенности внутреннего строения рудоносного плутона во многом определяют размещение метасоматитов; характер зональности грейзенов – интенсивность оруденения и т.д.), из чего вытекает принцип всеобщей взаимосвязи.

Прогнозные модели по классу объектов являются геолого-генетическими, а по классу решаемых задач – кибернетическими. Различными могут быть формы представления модели: концептуальные, математические, графические, информационные. При создании любого типа моделей весьма важно соблюдение принципа адекватности, т.е. соответствия модели объекту-оригиналу. Практические предложения моделирования основаны на соблюдении принципа эффективности, в соответствии с которым практическая значимость модели достигается при разумном компромиссе между близостью модели к оригиналу и простотой.

На рисунке приведена прогнозная модель важнейших типов месторождений грейзеново-жильной формации, главнейшими элементами которой являются вмещающие породы, рудоносные граниты, метасоматиты, жилы и руды, образующие систему «интрузив – надинтрузивная зона» [2, 4]. Здесь выделены четыре



Прогнозная модель главных типов месторождений грейзеново-жильной формации

1 - вмещающие породы; 2 - рудоносные гнейсы, сильно (3) и слабо (4) промывные; 7 - серицит-базальтовые метасоматиты; 8 - полиношпатовые метасоматиты (кальцит, кварц, альбитовые, габброидные, эфритовые); 9-11 - рудные тела штокового (9) и жильного (10) типа и тела минерализованных куполов (11); 12 - контур рудоносного гранитного штокоса; 13, 14 - границы метасоматических зон пропиточной (13) и грейзеновой (14) формаций; 15 - границы месторождений; 16 - номера главных типов месторождений (1 - споконинский; 2 - караобинский; 3 - акчатауский; 4 - инкурский; 5 - холотосский; 6 - руднотгорский; 7 - пиркалский; 8 - урмийский; 9 - богутинский; 10 - кайрактинский)

уровня рудообразования (1 – эндоконтактовый, 2 – приконтактовый, 3 – экзоконтактовый, 4 – удаленно-контактовый) и могут быть встречены объекты четырех рудных формаций (А – редкометалльной, Б – молибденит-вольфрамитовой, В – вольфрамит-касситеритовой, Г – шеелитовой). В системе выделены десять типов редкометалльных месторождений (см. рисунок).

Геокибернетический подход. При таком подходе к решению поставленных задач важно соблюдение принципов количественного изучения компьютеризации и последовательного приближения.

Работами А.Н.Бугайца, Л.Н.Дуденко, А.П.Кукулина, В.В.Марченко, В.И.Мишина, Б.А.Чумаченко и др. [1, 3, 7, 12, 15, 16] доказана высокая эффективность количественного прогнозирования на базе современных математических методов и ЭВМ. Принцип компьютеризации предусматривает автоматизированную обработку информации. Отметим, что имеющиеся в различных организациях (ВСНГЕИ, ВИМС, СЭПО и др.) автоматизированные системы состоят из системы управления базами данных, фактографической информационно-поисковой системы и проблемных программ, позволяющих обрабатывать массивы данных размером более 10000 объектов и 1000 признаков. Разработаны методические приемы перевода геологических данных на язык ЭВМ. При исследовании признакового пространства методами непараметрической статистики, корреляционного и факторного анализов изучается характер связей между признаками редкометалльного оруденения и остальными признаками. При статистически значимых связях находятся оценки информативности признаков путем сравнения объектов положительного образа, представленных месторождениями, рудопроявлениями (Р, Л), пунктами с промышленными содержаниями рудных элементов (Д), и объектов отрицательного образа (безрудных). По различным сочетаниям наиболее информативных признаков с помощью эвристических и статистических методов производится обучение ЭВМ, выбирается оптимальный вариант прогнозной модели и в автоматизированном режиме строится прогнозная карта. Преимущество такого подхода заключается в оперативности, возможности ранжирования критериев рудоносности и получения оптимальной прогнозной модели с количественной оценкой ее надежности. Еще большие возможности демонстрирует метод при переходе на персональные компьютеры.

Принцип последовательного приближения основан на закономерной смене масштабов работ (от мелко- к крупномасштабным), видов прогнозирования (от глобального до детального), объектов исследования (от рудных районов до рудных тел) при соответствующем изменении решаемых задач. При этой смене происходит закономерное изменение информационных признаков (от геолого-геофизических к петрографическим и минералого-геохимическим). Меняется и методологический подход к решению поставленных задач: а) при региональном прогнозировании территория делится на элементарные ячейки размером от 1 x 1 до 10 x 10 км и далее по формальным правилам [3, 15] производится ее прогнозная оценка; б) при локальном прогнозировании наряду с изложенным подходом большое внимание уделяется построению прогнозных моделей; в) при детальном прогнозировании акцент делается на математическое описание зональности оруденения и использование количественных методов определения прогнозных ресурсов.

При прогнозировании редкометального оруденения используются различные геологические, геофизические, петрографические, минералогические, геохимические методы, рациональный комплекс которых определяется целями, задачами и масштабом прогнозных исследований, а также информативностью признаков для целей прогнозирования [7-9, 12, 14, 15]. Особо подчеркнем необходимость тщательного изучения гранитоидных интрузий и прежде всего вопросов выделения и картирования интрузивных фаз, фаций, приконтактных изменений, выделения и корреляции интрузивных комплексов [2, 6, 12], выделения рудоносных и безрудных аляскитов [2, 12] и различных гидротермально-метасоматических образований с акцентом на фациальную, стадийную и формационную метасоматическую зональность [4, 10, 13]. При интерпретации данных, наряду с традиционными геологическими методами (историко-геологический анализ, геолого-формационный анализ, анализ пространственных закономерностей), в последние годы широко используются математические методы (статистическая оценка, методы картирования, методы классификации [3, 12, 15, 16]).

В заключение отметим, что предложенные принципы и методика апробированы в Агадырском рудном районе Центрального Казахстана (Р) и в пределах Верхнеурмийского рудного узла Баджалского района Хабаровского края (Л, Д), где прогнозировалось молибден-вольфрамовое (Р) и вольфрам-оловянное (Л, Д) оруденение грейзенового типа в масштабе 1:200 000 (Р) и 1:10 000 (Л, с переходом к Д). В пределах изученных территорий площадью 47000 км² (Р) и 200 км² (Л) собрана вся имеющаяся информация (Р1, 2, 3, 4, 5; Л3, 4, 5, 6) и проведены специализированные работы с составлением серии взаимосвязанных карт (Л4, 5, 6). Информационные банки данных, содержащие около 1000 признаков по 8700 ячейкам размером 2 x 2 км (Р) и 210 признаков по 7000 точкам наблюдения (Л) обрабатывались в ИВЦ ВСЕГЕИ, ЛГИ и СЗПО по программам Л.С.Гельтман (Р) и В.И.Мишина (Р, Л). Установлена связь редкометального оруденения с зонами пониженного гравиоля и локальными гравииминимумами (Р2); с пермскими гранитами аляскитовой формации (Р3) и предполагаемыми на глубине верхнемеловыми аляскитами и субщелочными лейкогранитами фтор-литиевого типа (Л3); с зонами грейзенизации (Р4, Л4), преимущественного развития кварцево-топазовых фаций с более поздними турмалин-сульфидными жилами (Л4); с участками повышенных содержаний в ореолах Mo, W, Zn, Pb, Bi (Р5) и с аномальными концентрациями Fe, Ge, As, Se, W, Sn, Bi, Cu, Zn, In (Л5); с зонами широкого развития типоморфных минералов грейзеново-турмалиновой формации - топаза, турмалина, касситерита, арсенопирита, халькопирита, сфалерита (Л6). Выявлены также критерии вертикальной зональности (Л4, 5, 6). С помощью ЭВМ выбраны оптимальные варианты регионального (дискриминантная модель, 33 геолого-геофизических признака при надежности прогнозной модели 88 % и 10 геохимических признаков при надежности 96 %) и локального прогнозирования (дискриминантная модель, 17 признаков, надежность 98 %). На прогнозных схемах выделено 30 перспективных участков (около 14 % территории) размером 5-40 км² для постановки детальных поисков (Р) и показана выявленная в процессе работ перспективная структура - зона Ленинградская (Л).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бекжанов Г.Р., Бугаев А.Н., Лось В.Л. Геологические модели при прогнозировании ресурсов полезных ископаемых. М.: Недра, 1987. 140 с.
2. Бескин С.М., Ларин В.Н., Марин Ю.Б. Редкометалльные гранитовые формации. Л.: Недра, 1978. 280 с.
3. Бугаев А.Н., Дуденко Л.Н. Математические методы при прогнозировании месторождений полезных ископаемых. Л.: Недра, 1978. 270 с.
4. Генетические модели эндогенных рудных формаций: Т. 2. Новосибирск: Наука, 1983. 176 с.
5. Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геолого-разведочных работ. М.: Недра, 1991. 238 с.
6. Добрецов Г.Л., Лесков С.А., Марин Ю.Б. Принципы расчленения и картирования гранитоидных интрузий: Метод. рекомендации / Всесоюз. н.-и. геолог. ин-т. Л., 1988. 82 с.
7. Кривцов А.И. Прикладная металлогения. М.: Недра, 1989. 288 с.
8. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В.Рудквиста. Л.: Недра, 1989. 752 с.
9. Локальное прогнозирование плутогенных месторождений молибдена, вольфрама и олова. М.: Недра, 1985. 244 с.
10. Марин Ю.Б. Метасоматические формации и их рудоносность / Ленингр. горный ин-т. Л., 1989. 96 с.
11. Марченко В.В. Человеко-машинные методы геологического прогнозирования. М.: Недра, 1988. 232 с.
12. Методы количественного прогнозирования ресурсов редких металлов / В.В.Иванов, С.М.Бескин, В.Н.Бондаренко и др. М.: Недра, 1985. 224 с.
13. Плюшев Е.В., Ушаков О.П., Шатов В.В. Методика изучения гидротермально-метасоматических образований. Л.: Недра, 1981. 282 с.
14. Принципы прогноза и оценки месторождений полезных ископаемых / Под ред. В.Т.Покалова. М.: Недра, 1984. 438 с.
15. Прогнозно-металлогенетические исследования при региональных геолого-съемочных работах: Метод. пособие по геологической съемке масштаба 1:50 000. Вып. 13. Л.: Недра, 1985. 260 с.
16. Справочник по математическим методам в геологии / Д.А.Родионов, Р.И.Коган, В.А.Голубева и др. М.: Недра, 1987. 338 с.
- Харченко А.Г. Принципы и методы прогнозирования минеральных ресурсов. М.: Недра, 1987. 230 с.