



В. И. Пахомов
доктор геолого-минералогических наук, проректор РГГУ,
vladim-pakhomov@yandex.ru

Новая технология обнаружения месторождений полезных ископаемых

(рудные месторождения)

Изложена технология прогноза месторождений, основанная на оценке изменчивости многомерных характеристик различных единиц металлогенической иерархии в объеме земной коры.

The stated technology of the forecast of deposits is based on an estimation of variability of multivariate characteristics of various units of metallogenics hierarchy in volume of the Earth's crust.

Ключевые слова: металлогения, иерархия, прогноз, фракталы, дисперсия, градиент.
Keywords: metallogenics, hierarchy, the forecast, fractals, a dispersion, a gradient.

В настоящее время в прогнозно-поисковых исследованиях существуют три направления решения задачи выявления полезных ископаемых.

Первое направление – геологическое. В рамках этого направления выявление местонахождений решается либо на основе объяснения их генезиса и принятия гипотезы о тождестве причин и следствий, либо на основе выделенных закономерностей, косвенно указывающих на генезис, и с использованием метода аналогий. При этом подразумевается, что проявления конкретных месторождений представляют собой закономерное явление, обусловленное целым рядом благоприятных факторов.

Основная схема рассуждений – аналогия, т.е. сравнение малоизученных объектов и их условий нахождения, включая характеристики соответствующих территорий, с известными и перенесение их свойств на малоизученные объекты. Стратегия поисков основана на представлении о том, что геологическая информация – наиболее эффективная основа обнаружения рудных объектов без учета ее вероятностного характера. Кроме того, функциональные связи между геологическими параметрами и местоположением месторождений очень сложны и многовариантны. Однако, несмотря на трудности, возникающие из-за ограниченности данных и сложности их интерпретации, считается, что установление связей между геологическими параметрами и размещением рудных месторождений ещё долго будет лежать в основе стратегии их поисков, так как между геологическими условиями и размещением месторождений существуют причинно-следственные связи.

Второе направление можно определить как кибернетическое (кибернетика в современном понимании – наука об общих закономерностях процессов обработки, управления и передачи информации). При таком подходе выявление местонахождения полезного ископаемого опирается на вероятностно-статистические и эвристические методы распознавания образов. В геологической литературе он получил название метода количественного прогнозирования. При решении задачи косвенно учитываются закономерности в размещении и нахождении месторождений, т.е. кибернетическое направление полностью основано только на аналогии. Если судить по литературным данным, то это направление обеспечивает не менее эффективное решение задачи прогнозирования, чем первый подход.

Оценка перспектив рудоносности в рамках второго направления включает два этапа работ. На первом, на базе известных объектов создаётся их информационная модель в виде набора признаков, для каждого из которых определена информативность. На втором этапе для каждого элементарного участка исследуемой территории (выбор размера участка определяется исследователем) вычисляется показатель перспективности как значение некоторой, чаще всего аддитивной или мультипликативной функции от информативности наблюдаемых признаков. Далее, на основе полученных результатов осуществляется оконтуривание площади для проведения поисковых работ. Достоверность прогноза определяется качеством первого этапа, что во многом зависит от алгоритма оценки информативности признаков.

Третье направление относится к прямым поискам месторождений. Это метод сплошного опробования перспективных территорий с целью выявления участков с аномальным содержанием полезных компонентов геохимическими и геофизическими методами или находками прямых признаков минерализации. Этот подход дорогостоящий и используется на ограниченных площадях, выделение которых осуществляется количественным прогнозированием и геологическим анализом. Для выявления месторождений необходимы данные геологической изученности и опробования территорий.

В современной геологии необходимо констатировать господство генетического принципа, что непосредственно отражается на методике прогноза и поисков месторождений полезных ископаемых. При этом одни генетические концепции время от времени сменяются другими. Причем известны объекты с невыясненным генезисом, которые разрабатываются десятками и даже сотнями лет. Излишнее доверие к этим концепциям, на наш взгляд, вредно, так как многие исследователи относятся к ним как к истинному и действительному знанию, а не как к гипотезам.

На фоне этих направлений намечился иной путь, что обусловлено преодолением ряда принципиальных, на наш взгляд, ошибок современной концепции прогнозно-поисковых исследований.

Образование рудных месторождений в геологической истории нашей планеты, в становлении и развитии земной коры – процесс частный, попутный, сопровождающий различные геологические эндогенные и экзогенные процессы и по масштабам и затратам

энергии малозначительный. При этом их формирование, являясь одной из сторон геологического развития тектоносферы, связанной с эволюцией различных её оболочек, носит сложный характер, в котором процессы последовательного, параллельного (одновременно) и наложенного развития тесно переплетаются друг с другом и определяют практически всё разнообразие металлогенических особенностей земной коры.

Одной из важнейших тенденций развития геологических процессов и структур Земли является тенденция к усложнению и нарастанию дифференцированности тектонических движений и характера геологических формаций как в пространстве, так и во времени. Как следствие, на практике широко развиты представления о том, что чем более дифференцированы магматические комплексы и тектонические структуры и выше изменчивость свойств геологического пространства, тем вероятнее обнаружение оруденения. Дифференциация вещества земной коры, приводящая к накоплению полезных ископаемых, происходит ступенчато (как результат смены процессов миграционного цикла). Начинаясь в пределах крупных блоков литосферы, она завершается на локальных площадях формированием скоплений, оцениваемых как месторождения полезных ископаемых. При этом возрастание степени их концентрации коррелируется с уменьшением объёма рудного объекта также ступенчато. Это свойство давно и плодотворно используется в металлогении для систематизации разноранговых скоплений полезных ископаемых.

В связи с этим схема рудоконцентрирующей системы может быть представлена в виде последовательной эволюции:

рудный район + Δ (рудный узел) \Rightarrow рудный узел + Δ (рудное поле) \Rightarrow рудное поле + Δ (месторождение) \Rightarrow месторождение + Δ (рудное тело) \Rightarrow рудное тело,

где Δ – энергетическая составляющая эволюции вещества земной коры (включая концентрацию руд) на конкретном иерархическом уровне.

В рассмотренных рамках динамики развития рудоконцентрирующей системы рудное тело является объектом высшего ранга, а рудный район – низшего.

Ф. Энгельс писал в «Диалектике природы», что «движение в применении к материи – это изменение вообще». Если низший уровень рассматривать как фон для более высокого, то различия в объектах дифференциации вещества смежных иерархических уровней

характеризуют такое изменение структуры материи, обусловленное перемещением вещества и энергии, которое проявляется в аномальности свойств вещества и энергии объекта высокого уровня по отношению к смежному с ним объекту низшего уровня.

Учитывая это, схему динамики рудоконцентрирующей системы можно представить несколько в ином виде:

рудный район + A (рудный узел) + A (рудное поле) + A (месторождение) + A (рудное тело) \Leftrightarrow рудное тело,

где A – изменения, являющиеся характеристиками эволюции вещества (в том числе и концентрации рудного) на разных иерархических уровнях.

Существуют общие черты рудных проявлений как следствия процесса тепломассопереноса в литосфере, не зависящие от различий возраста вмещающих толщ и геологической позиции.

Отсюда, например, месторождение представляет собой результат совокупности разномасштабных аномальных геологических изменений, отражающих следующую последовательность концентрации вещества: месторождение = A (месторождение) + A (рудное поле) + A (рудный узел) + ... Точно так же объект ранга рудного поля есть: рудное поле = A (рудное поле) + A (рудный узел) + A (рудный район) + ...

Эти объекты объединены одной общностью, а именно все они являются результатом последовательной геологической эволюции вещества в земной коре. Таким образом, рудные образования представляют собой системы, элементами которых выступают разномасштабные аномальные геологические объекты, несущие в себе информацию о концентрации вещества. Эмерджентным является свойство этих систем «содержать полезные ископаемые с наибольшей вероятностью».

К важнейшим свойствам рудоконцентрирующих систем относится локальность проявления рудных концентраций, что обусловлено наличием аномальных геологических объектов всех иерархических уровней во всем объеме эволюционной «колонны». Это свойство (конгруэнтность от лат. congruentis – совпадающий, совмещающий) – совмещение в пространстве аномальных геологических объектов

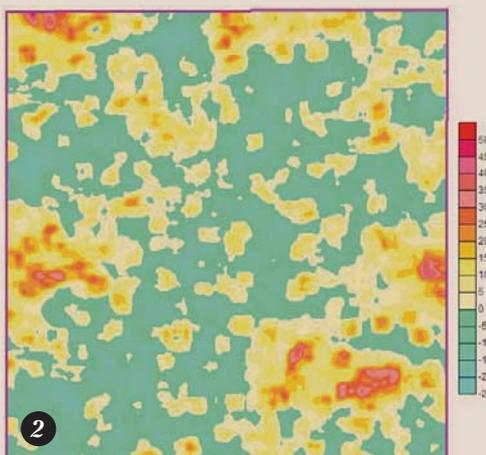


Рис. 1.
Фрагмент синтезированного космического снимка спутника Landsat ETM+, район Рязанской области.

Рис. 2.
Карта изолиний комплексного параметра фрактальной аномальности статистических характеристик яркости уровня месторождения (*).

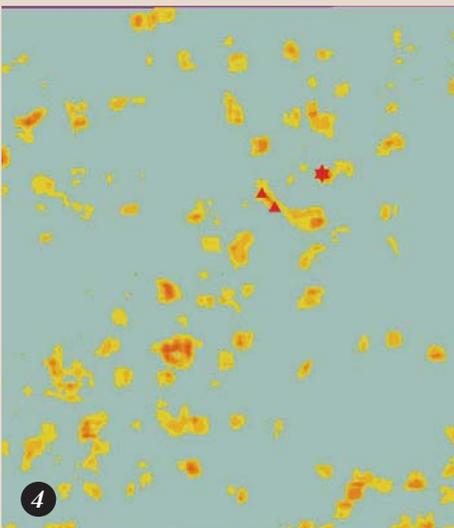
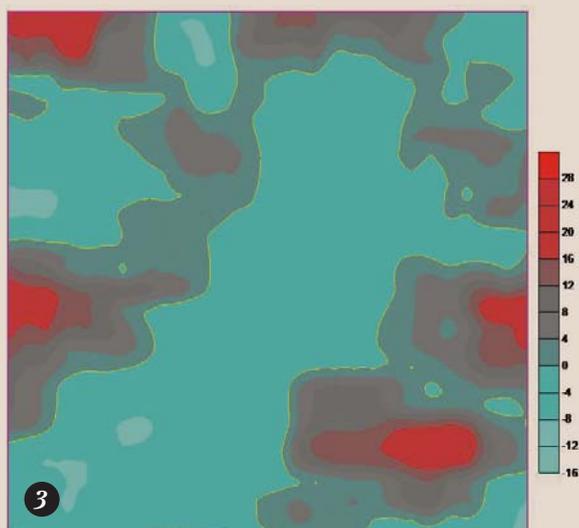


Рис. 3.
Карта изолиний комплексного параметра фрактальной аномальности статистических характеристик яркости уровня рудного поля (*).

Рис. 4.
Карта положительных аномалий комплексного параметра фрактальной аномальности статистических характеристик яркости уровня месторождения (участков максимального энерго-массопереноса, наиболее дифференцированных по яркостным свойствам).

★ - урановое месторождение
▲ - аэро-радиометрические аномалии

разных иерархических уровней – является условием рудоаккумуляции; для ее отсутствия достаточно отсутствия хотя бы одного из этапов эволюции. Максимальной продуктивности достигают металлогенические системы, характеризующиеся совмещением всей иерархической последовательности региональных, локальных и детальных структур.

Таким образом: 1) существуют общие черты рудных проявлений как следствия процесса тепло-массопереноса в литосфере, не зависящие от различий возраста вмещающих толщ и геологической позиции; 2) процесс рудоаккумуляции развивается поэтапно от уровня к уровню; иерархия рудоаккумуляционных систем является естественным результатом геологических процессов; соответствующая ей иерархия аномальных геологических

полей существует объективно, что позволяет использовать её для оценки рудоносности территорий; 3) продуктивность рудоаккумуляционных систем определяется степенью сложности их структурных особенностей, что характеризуется конгруэнтностью.

Изложенное приводит к выводу о принципиальной возможности использования признаков дифференциации и концентрации вещества, наблюдаемых в геологическом пространстве, в качестве индикаторов рудных систем. Количественными характеристиками дифференциации вещества являются статистические параметры: дисперсия, асимметрия, эксцесс, энтропия и др., – рассчитанные по измеренным свойствам вещества. Концентрация вещества проявляется в аномальных значениях его свойств. Комплексирование свойств

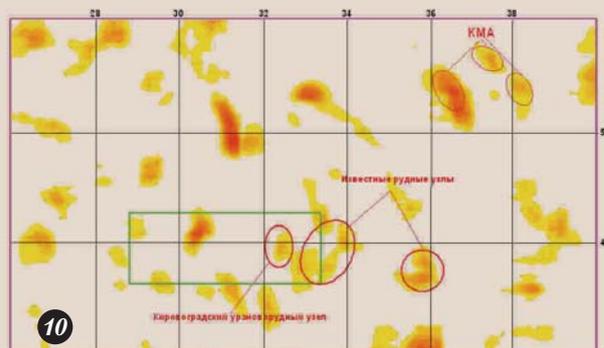
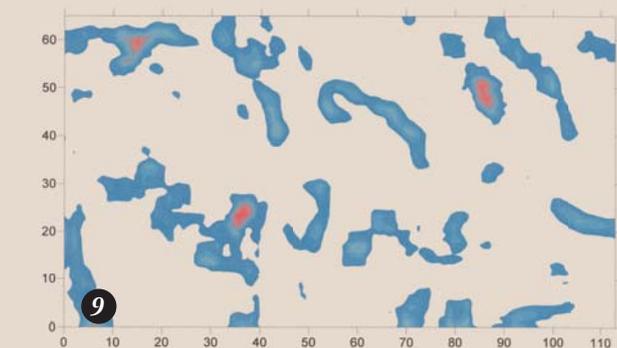
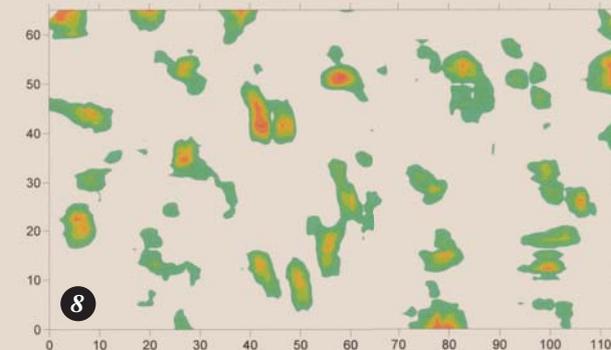
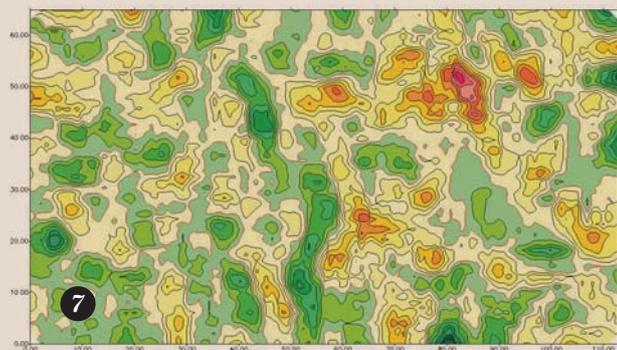
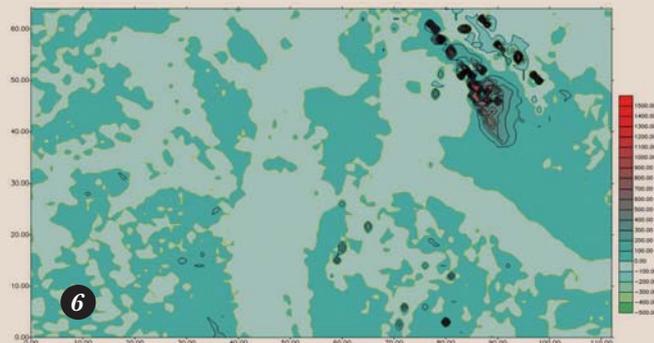
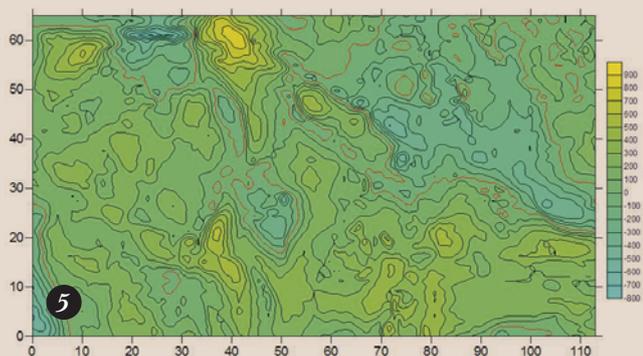


Рис. 5. Карта гравитационного поля (съёмка масштаба 1:1000000; район Украинского кристаллического щита)*.

Рис. 6. Карта магнитного поля (съёмка масштаба 1:1000000)*.

Рис. 7. Карта изолиний фрактального коэффициента связи геофизических полей (**).

Рис. 8. Карта аномальных значений градиента фрактального коэффициента связи (*).

Рис. 9. Карта комплексного параметра фрактальной аномальности неоднородности геофизических полей (участков максимального энерго-массопереноса) (*).

Рис. 10. Карта аномалий рудоносности уровня рудного узла (КМА – Курская магнитная аномалия; рудные узлы – слева направо – Белгородский, Старо-Оскольский, Ново-Оскольский).

*/ шкала в условных единицах,

** / шкала в единицах фрактального коэффициента связи.

вещества увеличивает вероятность обнаружения участков проявления энергетических процессов.

В наших исследованиях для оценки пространственной дифференцированности свойств вещества применен математический аппарат теории фракталов, что позволяет оценивать сложность геометрических фигур инвариантно относительно масштабов природных

явлений. Эффективность изложенного подхода к оценке потенциальной рудоносности территорий рассмотрена на примере известных месторождений урана.

Первый пример: результаты обработки материалов ДЗЗ по территории Рязанской области. Обработка заключалась в расчете метрики Хаусдорфа по всем спектральным диапазонам и по всем статистическим характеристикам

яркости снимков в статистических окнах, соответствующих уровням строения месторождения и рудного поля с последующим выделением наиболее дифференцированных участков.

На **рис. 1** приведен фрагмент синтезированного космического снимка спутника Landsat ETM+. **Рис. 2** представляет результаты обработки космического снимка в виде карты изолиний комплексного (по 8 спектральным диапазонам) параметра фрактальной аномальности статистических (дисперсия, асимметрия, эксцесс, энтропия и изрезанность) характеристик яркости уровня месторождения. **Рис. 3** представляет подобные результаты на уровне рудного поля. На **рис. 4** показаны аномалии уровня месторождения, полученные вычитанием поля **рис. 3** из поля **рис. 2**, которые представляют собой участки максимального энерго-массопереноса (наиболее дифференцированные по яркостным свойствам). Сопоставление полученных результатов с известными геологическими и ландшафтными материалами показывает, что ярко выраженное антропогенное воздействие на природные свойства района не маскирует энергетического воздействия на его геологический объем: очень четко выделяется аномальный участок известного Брикетно-Желтухинского месторождения урана; обращает на себя внимание другой участок, в пределах которого выявлены 2 аэро-радиометрические аномалии. Остальные участки могут быть связаны с процессами перераспределения других рудных элементов.

Эффективность изложенного подхода была также подтверждена результатами обработки материалов ДЗЗ по территории распространения месторождений типа «несогласия» в пределах впадины Атабаска (Канада).

Таким образом, обработка космической информации с выделением участков энерго-массопереноса позволяет успешно выявлять площади локализации месторождений. Этот вывод распространяется и на результаты подобного анализа геолого-геофизической информации по оценке корреляционной связи плотности и магнитной восприимчивости горных пород. Ее нарушение также является признаком проявления энергетических процессов в земной коре [2, 1]: положительной

корреляцией характеризуются горные породы, не измененные энергетическими процессами, отрицательной – подверженные воздействию наложенных энергетических процессов. Для оценки корреляции используется фрактальный коэффициент связи геофизических полей. Полученные результаты показали, что рудные месторождения, являясь продуктом локальных энергетических процессов, располагаются в местах повышенного градиента связи геофизических полей, соответствующих участкам резкого перехода неизмененных горных пород к измененным.

Комплексный параметр рудоносности представляет собой синтез градиента фрактального коэффициента связи гравитационного и магнитного полей и характеристик энерго-массопереноса по данным этих геофизических полей. Пример такого подхода рассмотрен по результатам обработки геофизической информации по Украинскому кристаллическому щиту. На **рис. 5** и **6** представлены гравитационное и магнитное поля по данным съемок масштаба 1:1 000 000; на **рис. 7** – карта фрактального коэффициента связи полей; на **рис. 8** – карта градиента этой связи; на **рис. 9** – карта участков максимального энерго-массопереноса; на **рис. 10** – карта параметра рудоносности уровня рудного узла. На этом рисунке четко проявлен известный Кировоградский урановорудный узел. Кроме него достаточно четко проявляются несколько участков, в пределах которых известны Криворожский и Гуляй-Польский рудные узлы, а также рудные узлы Курской магнитной аномалии: Белгородский, Старо-Оскольский, Ново-Оскольский. Эффективность подобного прогноза в Забайкалье подтверждена на примере Стрельцовского урановорудного узла.

На **рис. 11** выделен район, в пределах которого были проведены геофизические съемки масштаба 1:200 000. Анализом данных по этому району на уровне рудного поля были выделены аномалии с известными урановорудными полями (Мичуринским, Северинским, Новоконстантиновским, Ватутинским). В свою очередь в пределах площади съемок масштаба 1:50 000 одного из участков этого района были выделены аномалии, в пределах которых известны как урановые, так и золоторудные месторождения. 

Использованная литература

1. Каждан А.Б., Пахомов В.И. Прогноз эндогенной рудоносности Русской платформы по результатам системного тренд-анализа геофизических и гидрохимических данных. В сб.: «Новые достижения в науках о Земле», МГГА, 1996
2. Пахомов В.И., Пахомов М.И. Петрофизический метод выделения и оценки метасоматитов. М.: Недра, 1988