

НЕКОТОРЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

А.Г. Попов

Министерство природных ресурсов Пермского края, г. Пермь

Рецензент С.И. Дворецкий

Ключевые слова и фразы: вероятность модели; геологическое поле; геолого-картографический объект; геолого-картографическое моделирование; картографическая информация; критерий прогнозной оценки; минерагенический фактор; моделирование; поисковый критерий; прогноз месторождений.

Аннотация: Рассмотрены вопросы геолого-картографического моделирования с целью прогноза месторождений полезных ископаемых в технологиях геоинформационных систем. Раскрыто новое восприятие картографической информации. Дано определение геолого-картографическим объектам, приведена классификация прогнозных критериев с их значимостью. Выведена формула вероятности модели через количества используемых объектов. Приведен алгоритм прогнозного моделирования.

Развитие геологии сейчас происходит под воздействием информационных технологий, а геологического картографирования и картирования – под воздействием технологий геоинформационных систем (ГИС). Для решения прогнозных задач применяется геолого-картографическое моделирование (ГКМ), основной задачей которого остается прогноз месторождений полезных ископаемых. Общие поиски и прогноз полезных ископаемых основаны на среднемасштабном государственном, геологическом картировании в технологиях ГИС и мелкомасштабном минерагеническом исследовании, с применением ГКМ [5, 14, 15]. В методических рекомендациях ВСЕГЕИ минерагенический анализ представлен, как возможный способ моделирования, без его методологии [14, 15].

Термин моделирование в отечественной картографии был предложен в 1967 г. К.А. Селищевым [21]. В 1970 г. А. М. Берлянд предложил картографическое моделирование относить к фундаментальным понятиям кар-

Попов А.Г. – соискатель на степень кандидата геолого-минералогических наук, консультант отдела информационно-технического обеспечения Министерства природных ресурсов Пермского края, г. Пермь.

тографии [4]. В геологии с моделированием и моделью всегда ассоциировала блок-диаграмма или вещественная модель какого-либо месторождения, дающее наглядное представление и позицию геологических тел. С 70-х годов XX века под моделированием стало подразумеваться не только форма отображения, но и анализ картографической информации: в геотектоники, при определении геологического пространства; в геофизике, при построении геофизических полей; структурной геологии, при создании структурных поверхностей; геохимии, при определении полей и аномалий; гидрогеологии, инженерной геологии, геоэкологии, при описании геодинамических процессов [1–4, 6, 10, 17–20]. С использованием математических и статистических методов развилось математическое моделирование. Сейчас появилось обсуждение методологических и философских вопросов моделирования в геологии с различным представлением геолого-картографической информации [6, 7, 10, 17–20].

Объектом изучения ГКМ является картографическая информация. Понятие картографическая информация является широко употребляемым термином без однозначно-строгого научного определения. Затруднение это связано с невозможностью дать определение информации вообще. Информация является фундаментальной научной категорией без определения ее через другое понятие или аксиоматическое утверждение. Картографическую информацию надо воспринимать, как информацию вообще, передающуюся через картографическое изображение. Основным отличием геолого-картографического моделирования от обычного картографического является анализ глубинного строения недр Земли.

В технологиях ГИС, карту или картографическую информацию можно представить в виде генеральной матрицы (базы данных электронной таблицы), которая содержит в себе все традиционные составляющие карты и любую иную информацию:

$$M = (n_i, x_j, y_k, z_m, p_s, q_t, \dots), \quad (1)$$

где n_i – нумерация (индексация) картографического объекта; x_j, y_k – координаты объекта; z_m – альтитуда; p_s, q_t, \dots – числовые характеристики, кодировка, текстовая информация, топонимы и пр. Текстовую информацию всегда можно закодировать или оставить текстом.

Геолого-картографическое моделирование развивается по двум направлениям: А) форма представления картографической информации – построение картографических моделей и Б) анализ картографической информации, делящийся на районирование и прогноз.

А. Форма представления картографической информации, по размерности разделена на четыре вида: 1) двумерная, 2) псевдотрехмерная, 3) трехмерная и 4) четырехмерная модель. Псевдотрехмерную модель часто называют трехмерной, для географических задач она таковой и является (изогнутая поверхность рельефа, без глубины). Трех- и четырехмерные модели объединяют под обобщающим понятием объемная модель. Двухмерная модель – это традиционная проекция на плоскость. Псевдотрехмерная – это поверхность по трем параметрам, матрица $M(x, y, z, \dots)$ без развития на глубину. Истинная трехмерная модель – это набор псевдо-

трехмерных поверхностей, заполняющих все пространство на глубину, или объемная матрица по параметру z : $M \{(x_1, y_1, z_1^1, \dots), (x_2, y_2, z_2^2, \dots), \dots, (x_n, y_n, z_n^n, \dots)\}$. Четырехмерная модель – это трехмерная модель с четвертой переменной, время или объемная матрица с изменяющимися параметрами относительно времени: $M \{(x_1, y_1, z_1^1, t_1, \dots), (x_2, y_2, z_2^2, t_2, \dots), \dots, (x_n, y_n, z_n^n, t_n, \dots)\}$. При $t = \text{const}$ – это статическая модель, при t – переменной – динамическая модель. Относительно времени, геологического или современного, – палеодинамическая и современная динамическая, соответственно. Пространственные модели представляют ряд разложения: четырехмерная – трехмерная – псевдотрехмерная – двухмерная, с базовой двухмерной моделью.

Б. Прежде, чем рассматривать ГКМ, как анализ картографической информации, необходимо определиться с картографическим и геолого-картографическим объектами. Картографический объект (основное понятие картографии) – это пространственный картографический образ натурального объекта, включающего в себя математическую основу карты и любую иную числовую и текстовую характеристику. Геолого-картографический объект это картографический объект с дополнительной геологической информацией. В технологиях ГИС, для удобства программирования, картографические объекты разделены на классы. Объекты двух и псевдотрехмерной моделей разделены на: 1) точку, 2) линию, 3) поверхность (полигон). Точка является базовым объектом, линия – вторичным, поверхность – составным пространственным объектом. Необходимо помнить, что при генерализации полигоны превращаются в точки, отсюда вытекает следствие условности базового объекта относительно масштаба. Объекты трех-четырёхмерных моделей разделены на: 1) точку, 2) линию плоскости, 3) плоскость и 4) объемную фигуру. Объекты точки различных моделей однотипны. Отличие точки объемной модели заключается в изменении параметра z . Линия плоскости – это двухмерная линия. Плоскость – объект сугубо объемной модели. В двухмерной модели проекция плоскости есть линейный объект. Объемная фигура является основным объектом трех-четырёхмерных моделей. Теоретически они могут быть разбиты на бесконечное количество псевдотрехмерных поверхностей.

Картографическую информацию можно представлять не только как генеральную матрицу, но и как генеральное множество объектов (по математическому анализу). Элементом генерального множества является точка, а линия и поверхность – подмножествами. В генеральной матрице, объекты являются ее частями – это строки, совокупности строк или отдельные матрицы, ее составляющие.

С одной стороны, картографический объект является пространственным образом, с другой – информацией. С объектами допустимо проведение различных операций и действий – математических, логических, пространственных и прочих. Это их свойство лежит в основе моделирования. Пространственные операции, применяемые к объектам, могут свестись к математическим или логическим матричным преобразованиям. Матричные преобразования, или допустимые действия над объектами, можно условно разделить на внутренние и внешние. *Внутриматричные преобразования* производятся, когда исследуется один объект, представляющий от-

дельную составляющую генеральной матрицы. *Внешнематричные преобразования* сводятся к преобразованиям между выборками генерального множества или матрицами, составляющими генеральную. Они осуществляются, когда исследуются больше одного объекта. Внешнематричные преобразования всегда можно свести к внутриматричному.

Геолого-картографическое прогнозное моделирование заключается в установлении пространственной взаимосвязи между объектами или ее отсутствии, а это возможно при пространственном сопоставлении, подразумевающим поверхность или поле. К примеру, необходимо сопоставить два объекта, являющихся точечным классом, несмотря на условность их относительно масштаба. Практически это можно осуществить с помощью визуального анализа, с погрешностью как «читаемости» картографической информации, так и самого анализа. При континуализации точек в поверхность или создания буферных зон по условию мы получим новые объекты – поля, которые возможно пространственно сопоставить и получить накладывающиеся друг на друга зоны или наоборот, не получить их. Эту операцию можно назвать анализом сочетания объектов, принципиально сводящуюся к внутриматричным преобразованиям с визуализацией при представлении результата. Для проведения анализа пространственного сочетания необходимо получение полей из точечных и линейных объектов. Поля выводятся различными способами, путем континуализации, буферизации, топологии и прочих преобразований, обработки растровых изображений аэрофотографических и космических снимков и т.д. Основным вопросом остается определение условий преобразования в поле. Он решается с помощью теоретических обоснований или посредством расчетов по апробации.

Точка как геолого-картографический объект – это дискретный картографический объект наблюдения или апробации геологической среды. В составе генеральной матрицы это отдельные строки, в составе генерального множества – его первичные элементы.

Линейный геолого-картографический объект – двухмерный картографический объект, являющийся проекцией собственно плоскости, или плоскости объемного геологического тела на поверхность. В составе генеральной матрицы это совокупности строк, в составе генерального множества – подмножества. На геологических картах линейные геолого-картографические объекты представлены геологическими границами, тектоническими нарушениями, границами структур, формаций, месторождений и контурами полигонов, пространственно ограничивающие развитие различных явлений и процессов. Геологические границы стратиграфических подразделений различаются на истинные, предполагаемые, условные, простые, сложные, составные, по формализованным геологическим свойствам и имеют значение для традиционных геологических карт. Однако они не являются объектами, по которым возможно моделирование. Это относится и к любым иным границам, являющимися контурами, то есть составной частью полигонов или же проекцией объемных объектов. Моделирование проводится только по полям.

Тектоническое нарушение – это линейный геолого-картографический объект, указывающий на разрыв геологического поля, характеризуется важной геологической информацией. Для разломов устанавливаются бу-

ферные зоны (поля), отвечающие связям с объектами по теоретическим и фактическим данным.

Поверхность как геолого-картографический объект – это геологическое поле – картографическая поверхность с геологической информацией. В составе генеральной матрицы это отдельная матрица, входящая в состав генеральной (или подмножество генерального множества). Термин геологическое поле в геологии появился в 70-х годах XX века, как удобное пространственно-описательное представление [2]. С развитием геофизики понятие «поле» приобрело физико-математический смысл, с развитием геохимии – пространственно-математический. Аналогичное восприятие поля появилось в геодинамике, гидрогеологии и иных подразделах геологии. Поле рассматривалось, как часть пространства с определенными параметрами. По В.Ф. Мягкову (1984) геологическое поле – это пространство, каждому элементу которого сопоставимо определенное значение какого-либо свойства. А.Г. Баранников предложил разделять геологические поля на гомогенные и гетерогенные [3]. По своей природе геологические тела четырехмерны. На геологических картах они двухмерны. Геологическая карта (проекция геологических тел на поверхность) по сути есть геологическое поле.

Принципы и способы геолого-картографического моделирования (ГКМ) соответствуют принципам картографического моделирования: 1) подобия и аналогии; 2) абстрагирования и конкретизации; 3) математизации; 4) анализа и синтеза; 5) системности; 6) генерализации и традиционным принципам геологоразведочных работ: 1) последовательного приближения; 2) аналогии; 3) выборочной детализации; 4) соответствия поисковых методов поисковым признакам; 5) экономической эффективности. Эти принципы детально обоснованы [1–4, 8, 9, 11–13].

Способы или приемы анализа картографической информации делились на анализ серии карт, визуальный анализ и анализ с преобразованием картографической информации. При использовании технологий ГИС способ анализа серии карт и сопоставление разномасштабных карт автоматизировался. Визуальный анализ остался как первично-основной со своей схемой: «визуальный анализ – синтез и систематизация результатов визуального анализа – картографические построения на основе визуального анализа, синтеза и систематизации». Анализ с преобразованием картографической информации сейчас можно представить в виде следующей схемы:

1) получение новых геолого-картографических объектов раскрывающих сущность геологической среды, путем: а) теоретических построений; б) экспериментов; в) апробации и наблюдений (в том числе дистанционного зондирования и аппаратного сканирования); д) математических и пространственных преобразований объектов (внешне и внутриматричные преобразований);

2) установление качественно-количественных и пространственных связей между объектами;

3) визуализация новых объектов и полей пространственных связей.

Определение ГКМ. *Геолого-картографическое моделирование – это форма представления и анализ геолого-картографической информации, с*

получением новых картографических объектов, раскрывающих сущность геологической среды. Необходимо отметить, что это еще способ анализа картографической информации, заключающийся в установлении взаимосвязей между объектами. Из определения вытекают три основных свойства: 1) форма отображения (построение моделей); 2) анализ и 3) способ проведения анализа.

По свойствам определения ГKM разделено на три основных направления: 1) построение моделей; 2) анализ картографической информации; 3) способ анализа и построения моделей (универсальное направление, входящее в состав двух первых). В свою очередь, анализ картографической информации состоит из поднаправлений: районирование и прогноз. По составу и способам наполнения картографическая информация модели отличается наличием новых, смоделированных объектов, раскрывающих скрытые свойства геологической среды.

ГKM с целью прогноза месторождений полезных ископаемых рассмотрено для двухмерного и псевдотрехмерного отображений.

Поиск и разведка месторождений полезных ископаемых методологически проводятся с использованием поисковых критериев (критериев прогнозной оценки): а) стратиграфический; б) литолого-фациальный; в) магматический; г) структурно-тектонический; д) формационный; е) геохимический; ж) геоморфологический; з) геофизический критерии [2, 3, 8, 9, 11–13] с добавлением критериев дистанционного зондирования и аппаратного сканирования Земли.

В ГМК критерии характеризуются большей пространственной значимостью, как «объекты-критерии», и являются выборкой из генерального множества или матрицы. Объекты-критерии можно разделить по их значениям и свойствам на типы и классы (табл. 1). Причем такие традиционные, как стратиграфический, литолого-фациальный, магматический и формационный дозволительно объединить в один класс формационно-стратиграфический, так как он формируется из одного подмножества (матрицы) стратиграфических подразделений.

По прогнозным критериям устанавливаются минерагенические факторы. Минерагенический фактор 1-го рода соответствует рудоконтролирующим формациям полезных ископаемых и определяется по формационно-стратиграфическому критерию. Минерагенический фактор 2-го рода устанавливается по пространственному сочетанию прогнозных объектов-критериев с ранжированием их по сочетающемуся количеству.

По значениям критериев допустимо выделить: 1) абстрактное; 2) экспериментальное; 3) теоретическое; 4) фактологическое моделирование и 5) анализ сочетания критериев. Известное в картографии математическое моделирование с построением корреляционных, статистических карт и математическое моделирование в геологии, являются все же более способом анализа, нежели методом моделирования. Математический аппарат используется во всех методах моделирования без исключения.

Анализ сочетания критериев основан на принципе подобия и аналогии. При прогнозе месторождений полезного ископаемого из всего множества объектов необходимо выбрать объекты, характеризующие эти месторождения; затем, по их пространственному сочетанию, определить места

Таблица 1

**Объекты-критерии прогнозного
геолого-картографического моделирования**

№	Значение	Тип	Класс	Свойство	
1	Абстрактное	Абстрактно-гипотетический	Гипотетический	Гипотез	
2			Абстрактный	Представлений	
3	Экспериментальное	Экспериментальный	Экспериментальный	Экспериментов	
4	Теоретическое	Географический	Пространственно-генетический	Закономерное размещение объектов	
5			Геоморфологический	Гипсометрический	Взаимосвязь рельефа с объектами
6		Палеогеоморфологический		Взаимосвязь палеорельефа с объектами	
7		Геологический	Стратиграфический (формационно-стратиграфический)	Соответствие объектов стратиграфическим, литологическим, формационным полям	
8			Глубинный	Связь объектов с глубинным строением	
9		Тектонический	Структурный	Связь объектов с тектоническими структурами	
10			Разломов	Связь тектонических нарушений с объектами	
11		Фактологическое	Аномалий	Геохимический	Геохимические поля и аномалии и связь объектов с ними
12				Минералогический	Минералогические аномалии и связь объектов с ними
13				Аномалий различного свойства	Связь объектов с аномалиями
14	Геофизический			Геофизические аномалии, поля и связь объектов с ними	
15		Опробования	Апробаций	Результаты апробаций	
16		Дистанционного зондирования (ДЗ)	Линеаментов	Связь линеаментов с объектами	
17			Структур ДЗ	Связь объектов со структурами ДЗ	
18			Дистанционного аппаратного сканирования (ДАС)	Связь объектов с полями и аномалиями ДАС	
19	Подобное	Подобия	Сочетания	Пространственные места сочетаний критериев	
20	Скрытое	Скрытые критерии	Скрытых	Не установленное	

возможных месторождений. Выборка объектов осуществляется в два этапа. На первом – отвергаются объекты, логически не имеющие связей (к примеру, административные границы, инфраструктура и др., ни как не связанные с проявлениями и месторождениями полезных ископаемых). На втором – выбираются объекты потенциальной связи. Допустимо проведения анализа сочетания всех объектов потенциальной связи, получив в результате поля сочетания только тех объектов, которые действительно имеют пространственное совпадение. К примеру, месторождения и проявления определенного полезного ископаемого развиты вблизи рудоконтролирующих разломов. Объектом выборки будут являться тектонические разломы, созданным новым объектом – их рассчитанные буферные зоны, поля (тектонический критерий). Рудоконтролирующую формацию этого же полезного ископаемого составляют некоторые стратиграфические подразделения. Объектом выборки будут являться стратиграфические подразделения – геологическое поле (формационно-стратиграфический критерий). Анализ сочетания критериев заключается в установление нового поля, включающих оба поля (два критерия), который трактуется как места возможного месторождения или перспективные участки.

Как правило, исследователь не обладает полным набором объектов-критериев, кроме этого, существуют скрытые критерии. Это заставляет вводить понятия достоверности моделирования и вероятности модели. Вероятность модели из-за скрытых критериев является комплексным числом

$$p_k = m_k / (n_k + i), \quad (2)$$

где p_k – вероятность модели; m_k – количество объектов-критериев используемых для прогнозного моделирования; n_k – количество объектов-критериев всего; i – скрытые критерии (мнимая часть комплексного числа).

Для расчета вероятности необходимо определиться с количествами объектов-критериев. При опускании абстрактных, гипотетических, экспериментальных, скрытых (мнимая часть числа вероятности) критериев и их сочетания, количество объектов-критериев n_k в формуле (2) составит 15. Опускание критериев обосновано традиционностью использования определенного набора критериев для прогноза месторождений, по значимости – это теоретические и фактологические критерии (см. табл. 1). Определение количества всех скрытых критериев практически невозможно, освобождение от мнимости обосновывает их опускание.

Вероятность модели аналогична коэффициентам подобия и надежности оценки прогнозных ресурсов Q . Формулы прогнозных ресурсов оперируют размерностью прогнозируемого тела и продуктивностью или содержанием полезного ископаемого на единицу. Так, для различных категорий прогнозных ресурсов (P_2 и P_3) применяются формулы [3, 16]:

$$Q = k S H C D, \quad (3)$$

$$Q = \gamma C V, \quad (4)$$

где S – площадь; H – мощность (глубина); C – содержание или продуктивность полезного ископаемого; D – плотность тела (для перевода размерности); V – объем перспективного участка.

Коэффициент надежности прогноза k в формуле (3) (условность предполагаемого геологического тела) принято применять в интервалах 0,3...0,5 для низкой, 0,5...0,8 – высокой и 0,8...1 – для очень высокой надежности прогноза. Этот коэффициент тождественен вероятности модели формулы (2).

Коэффициент подобия γ в формуле (4) определяется как

$$\gamma = 1 - n/N, \quad (5)$$

где n – число различающихся признаков, сравниваемых территорий; N – общее число признаков. Коэффициент подобия есть достоверность модели, а n/N – вероятность, аналогичная вероятности формулы (2).

В сопоставлении коэффициентов определена достоверность модели при общем количестве объектов $n_k = 15$. При использовании объектов-критериев m_k в количестве от 2 до 3 вероятность модели 0,1...0,2 – минимально-приближенная модель. При использовании объектов-критериев от 4 до 8 вероятность 0,3...0,5 – достаточно-достоверная модель. При использовании объектов-критериев от 9 и больше вероятность 0,6 и больше – максимально-достоверная модель (табл. 2).

Геолого-картографическое моделирование при районировании. Картографическое районирование – выделение территорий по условиям. Отличие состоит в способе анализа картографической информации.

Результатом минерагенических исследований является районирование – установление минерагенических подразделений: провинция, область,

Таблица 2

Вывод достоверности и вероятности модели в соответствии с коэффициентами подобия и надежностью прогнозных ресурсов

Количество критериев, m_k , при $n_k = 15$	$n = N - m_k$	Коэффициент подобия в формулах (4) и (5), $\gamma = 1 - n/N$	Коэффициент надежности в формуле (3), k	Вероятность модели, p_k	Достоверность модели
1	14	0	–	0,07	–
2	13	0,1		0,1	Минимально-приближенная
3	12	0,2		0,2	
4	11	0,3	Низкая	0,3	
5	10	0,3			
6	9	0,4		0,4	
7	8	0,5		0,5	
8	7	0,5	Высокая	0,5	
9	6	0,6		0,6	Максимально-достоверная
10	5	0,7		0,7	
11	4	0,7		0,7	
12	3	0,8	Очень высокая	0,8	
13	2	0,9		0,9	
14	1	0,9		0,9	
15	0	1		1	

район, узел, которое может быть проведено как снизу вверх, так и обратно. При прогнозном моделировании по объектам-критериям устанавливаются поля минерагенических факторов. Их максимальные сочетания характеризуют места возможных месторождений. Места возможных месторождений с известными месторождениями образуют существующие узлы, без установленных месторождений – прогнозные. Узлы формируют районы, области, провинции по формационному, структурно-тектоническому и географическому принципам. Применим и обратный ход, выделение провинции с пространственно-генетическими полезными ископаемыми и, далее деление на области, районы и узлы.

Таким образом, схема моделирования сводится к следующим действиям: «выборка объектов-критериев – преобразование их в поля – анализ сочетания полей с установлением пространственных совпадений». Территории пространственных совпадений максимального количества критериев, положительных минерагенических факторов, трактуются, как места возможных месторождений (перспективные участки). Исследователю остается определиться с условиями выборки и преобразованиями объектов в поля, что является аналитическо-творческой задачей.

Список литературы

1. Ажгирей, Г.Д. Структурная геология / Г.Д. Ажгирей. – М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1956. – 479 с.
2. Аристов, В.В. Поиски твердых полезных ископаемых / В.В. Аристов. – М. : Недра, 1975. – 243 с.
3. Баранников, А.Г. Прогнозирование и поиски месторождений полезных ископаемых / А.Г. Баранников. – Екатеринбург : Уральская гос. горно-геолог. академия, 1999. – 141 с.
4. Берлянд, А.М. Использование карт для целей прогноза / А.М. Берлянд // Картография. Итоги науки и техники. – 1976. – Т. 7. – С. 22–36.
5. Берлянд, А.М. Электронное картографирование в России / А.М. Берлянд // Соровский образовательный журнал. – 2000. – №1. – С. 64–70.
6. Бурдэ, А.И. Картографический метод исследования при региональных геологических работах / А.И. Бурдэ. – Л. : Недра, 1990. – 251 с.
7. Еганов, Э.А. О моделировании в геологии / Э.А. Еганов, В.И. Молчанов, В.В. Параев // Философия науки. – 2006. – №3(30). – С. 92–107.
8. Каждан, А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (научные основы поисков и разведки) / А.Б. Каждан. – М. : Недра, 1984. – 235 с.
9. Каждан, А.Б. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых (производство геолого-разведочных работ) / А.Б. Каждан. – М. : Недра, 1985. – 298 с.
10. Кирмасов, А.Б. Анализ пространственных данных в геологии средствами ArcView / А.Б. Кирмасов // ArcReview. – 2002. – № 2 (21). – С. 13.
11. Теоретические основы поисков и разведки твердых полезных ископаемых / В.М. Крейтер [и др.]. – М. : Недра, 1968. – 384 с.
12. Крейтер, В.М. Поиски и разведка месторождений полезных ископаемых / В.М. Крейтер. – М. : Недра, 1969. – 432 с.

13. Критерии прогнозной оценки территории на твердые полезные ископаемые / под ред. Д.В. Рундквиста. – Л. : Наука, 1986. – 748 с.
14. Методические рекомендации по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 1 000 000 (третьего поколения) // Сб. ВСЕГЕИ. – М., 2005.
15. Методические рекомендации по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1 : 200 000 (третьего поколения) // Сб. ВСЕГЕИ. – М., 2005.
16. Методическое руководство по оценке прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Т.1, 2. – М. : ВИЭМС, 1986.
17. Попов, А.Г. Геолого-картографическое моделирование / А.Г. Попов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении : сб. науч. ст. / Пермский ун-т. – Пермь, 2006. – С. 309.
18. Попов, А.Г. Геолого-картографическое моделирование для решения практических задач / А.Г. Попов // ArcReview. – 2006. – № 4 (39). – С. 13.
19. Попов, А.Г. К вопросу математического моделирования россыпей алмазов / А.Г. Попов // Геология и подземные ископаемые Урала : материалы регион. науч.-практ. конф. / Пермский ун-т. – Пермь, 2003. – С. 130–134
20. Попов, А.Г. Метод компьютерного моделирования неотектонического движения по эрозионной сети / А.Г. Попов // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении : сб. науч. ст. / Пермский ун-т. – Пермь, 2005. – С. 115–121.
21. Селищев, К.А. Картография / К.А. Селищев. – М. : Высшая школа, 1971. – 237 с.
-

Some Theoretical Aspects of Geo-Cartographic Modeling

A.G. Popov

Ministry of Natural Resources of Perm District, Perm

Key words and phrases: probability of model, geological field, geologic-cartographic object, geo-cartographic modeling, cartographic information, forecast estimation criterion, the factor of minerals, modeling, search criterion, prediction of deposits.

Abstract: The paper deals with the questions of geological and cartographic modeling for the purpose of predicting mineral resources deposits in GIS technologies. It reveals a new understanding of cartographic information. The definition of geo-cartographic objects and classification of prediction criteria along with their significance are given. The formula of probability model in terms of the number of used objects is produced. Consideration is being given to the algorithm of prediction modeling.

© А.Г. Попов, 2007