

Попов Андрей Геннадьевич

**ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
С ЦЕЛЬЮ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ
ИСКОПАЕМЫХ**

(РЕДАКЦИЯ)



г. Пермь, 2000 г.

УДК 550.8.011-013

Попов А.Г. Геолого-картографическое моделирование с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. Пермский край. Открытый файл. 2000. 72 С.

Изложена методология и предложен метод геолого-картографического моделирования с целью прогноза месторождений полезных ископаемых. Метод может быть использована при поисках месторождений полезных ископаемых.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. МЕТОДОЛОГИЯ.....	6
1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ.....	6
1.2. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ.....	12
1.3. СПОСОБЫ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	15
1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ.....	17
1.5. МЕТОДЫ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	19
1.5.1. АБСТРАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	20
1.5.1.1. Теоретическое моделирование.....	20
1.5.1.2. Экспериментальное моделирование.....	20
1.5.2. ФАКТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	21
1.5.2.1. Анализ факторов подобия.....	22
1.5.2.2. Построение и анализ геолого-картографических поверхностей (полей).....	32
1.5.2.3. Объемное (глубинное) моделирование.....	39
1.5.3. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ.....	43
1.5.3.1. Моделирование по АФС и КС.....	46
1.6. МЕТОДИКА ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	54
1.6.1. ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (ФАКТОРЫ ПОДОБИЯ).....	65
2. МОДЕЛИРОВАНИЕ.....	67
2.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ.....	67
2.1.1. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И ТОРИЯ.....	69

Без заключения и литературы.

СПИСОК РИСУНКОВ

Рисунок 1. Теоретические основы геолого-картографического моделирования.....	7
Рисунок 2. Фрагмент визуализированной цифровой модели топографической карты масштаба 1 : 200 000 Пермской области средствами программного обеспечения.....	10
Рисунок 3. Структура и состав картографической информации карты.....	18
Рисунок 4. Структура и состав картографической информации геолого-картографической модели.....	18
Рисунок 5. Карта с картографическими объектами в виде пространственной матрицы. Картографические объекты: 1 – река, 2 – горизонталы, 3 – объект «п», 4 – объект «т».....	22
Рисунок 6. Карта с определенными полями картографических объектов. 1 – буферная зона реки, 2 – буферные зоны горизонталей с отметками 200 и 300 м, 4 – поле точечного объекта п, определенная по известному условию, 5 – поле точечного объекта т, определенная по условию.....	23
Рисунок 7. Карта прогнозных мест объекта т. Условные обозначения на рис. 5-6.....	24
Рисунок 8. Разгруженная визуализированная ЦМ части территории Горнозаводского района Пермской области с местами максимальных концентраций золота и алмазов в россыпях. Места концентрации (максимальных содержаний): 1 – золота, 2 – алмазов.	27
Рисунок 9. Схема сопоставления объектов для установления количества факторов подобия.....	28
Рисунок 10. Взаимосвязь рельефа с местами концентраций алмазов.....	30
Рисунок 11. Анализ факторов алмазоносности.....	31
Рисунок 12. Анализ результатов моделирования.....	32
Рисунок 13. Различные варианты проведения изолиний по одним и тем же точкам и одним и тем же значениям (построение поверхностей различными методами).....	34
Рисунок 14. Варианты построения поверхности в зависимости от расчетной сети (ГРИД)	35
Рисунок 15. Варианты построения поверхности от метода.....	36
Рисунок 16. Кондиция и построение.....	38
Рисунок 17. Трехмерная (глубинная) геологическая модель.....	40
Рисунок 18. Цифровая модель рельефа по пробуренным скважинам (первая сверху поверхность объемной модели).....	41
Рисунок 19. Разложение на поверхности (снятие верхних поверхностей).....	42
Рисунок 20. Урало-Оманский линеамент.....	45
Рисунок 21. Модель фрагмента Земли с хорошо видимым Урало-Оманским линеаментом	45
Рисунок 22. Космический снимок части территории Красновишерского района.....	47
Рисунок 23. Космический снимок части территории Красновишерского района после цветовой обработки.....	48
Рисунок 24. Выделение по обработанному снимку тектонического нарушения и контура геологической структуры.....	50
Рисунок 25. Преобразованный снимок с выделенными структурами.....	51
Рисунок 26. Анализ результатов.....	52
Рисунок 27. Принципиальная схема моделирования по КС.....	53
Рисунок 28. Принципиальная схема проведения геолого-картографического моделирования для решения прогнозных задач.....	64
Рисунок 29. Результат моделирования месторождений урана и тория по Уралу.....	72

ВВЕДЕНИЕ

В XXI веке возникла потребность в создании новых геологических карт, отвечающим требованиям времени, с возможностью проведения поискового анализа на компьютере. Основным инструментом этого анализа является геолого-картографическое моделирование, как новое направление геологической картографии.

Приведено определение геолого-картографического моделирования, рассмотрена методология и понимание картографической информации в связи с развитием новых технологий. Подробно определены картографические и геолого-картографические объекты, как составляющие картографической информации. Критически пересмотрены способы картографического моделирования. Предложены методы ведения геолого-картографического моделирования и их определения. Разработана система методов и комплексный подход при моделировании с целью прогноза месторождений полезных ископаемых и геологических процессов. Предложен один из методов – сочетание факторов подобия, как основной при решении прогнозных задач. В качестве примера приведены геолого-картографические модели: геологическая карта на доплейстоценовой поверхности, карта прогноза месторождений Пермской области и Коми-Пермяцкого АО и карты-модели Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей.

Основные результаты работы:

1. Предложено новое направление геологической картографии – геолого-картографическое моделирование, как научно-производственный процесс проведения исследования и анализа картографической информации, раскрывающего наглядность и сущность геологических явлений и процессов.

2. Определены основные цели геолого-картографического моделирования - решения прогнозных задач и разработана методика их достижений: прогноз месторождений полезных ископаемых, построение геолого-прикладных моделей различных процессов и явлений, на примерах в виде предлагаемых карт.

1. МЕТОДОЛОГИЯ

1.1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ОСНОВА И СОВРЕМЕННОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В истоках геолого-картографического моделирования лежит картография и картографическое моделирование. Исходя из того, что геологическая картография является одним из направлений картографии, для понимания основ геолого-картографического моделирования его методов и принципов, необходимо рассмотреть основные определения, принятые в картографии, а так же современное представление компьютерной карты технологий геоинформационных систем (ГИС), картографических объектов и принципов их преобразований. По мнению специалистов, одного из лидирующего предприятий разработчиков и использования технологий ГИС, Калифорнийского института экологических систем (ESRI): «географическая информационная система (ГИС) – это система для управления географической информацией, ее анализа и отображения». ГИС это три взаимоувязанные составляющие: 1) базы данных, 2) визуализация, 3) географическая обработка. Последнее является не чем иным, как географическим моделированием.

Определение картографии дается во многих учебниках, словарях и энциклопедиях. Представители ESRI, считают, что картография это искусство и наука графического представления объектов окружающего мира. Наиболее удачное определение картографии, по моему мнению, и не утратившее свое значение до сих пор, предложено в 1966г. Комиссией картографического образования Международной Картографической Ассоциацией (МКА): «**Картография** – это совокупность исследований и работ научных, художественных и технических, выполняемых при проектировании и создании карт и других форм изображения и их использование». В настоящее время технологии ГИС заменяют картографию в техническо-аналитической части, (являясь новым наиболее технологически совершенным инструментом) но ни коим образом не отменяют основные принципы картографии. Картографическое моделирование в картографию пришло, как-то само собой, сначала при построении объемных моделей рельефа местностей, затем, как один из методов анализов. Впервые, термин картографическое моделирование был предложен в 1967 г. К.А. Селищевым при характеристике картографической информации, как «образно-знаковых моделях, воспроизводящих действительность в схематизированной, генерализированной и наглядной форме...» []. В географическом словаре за 1988 г [] **картографическое моделирование** раскрывается, как «создание пространственных образно-знаковых моделей действительности с целью их использования для получения новых знаний об объекте исследования». В 1970-80 гг. А. М. Берлянд [] картографическое моделирование предложил относить к фундаментальным понятиям картографии. Понятие картографическая модель почему-то осталось без определения. Вообще, **картографическая модель** есть любая форма картографического изображения действительности, несущая в себе картографическую информацию.

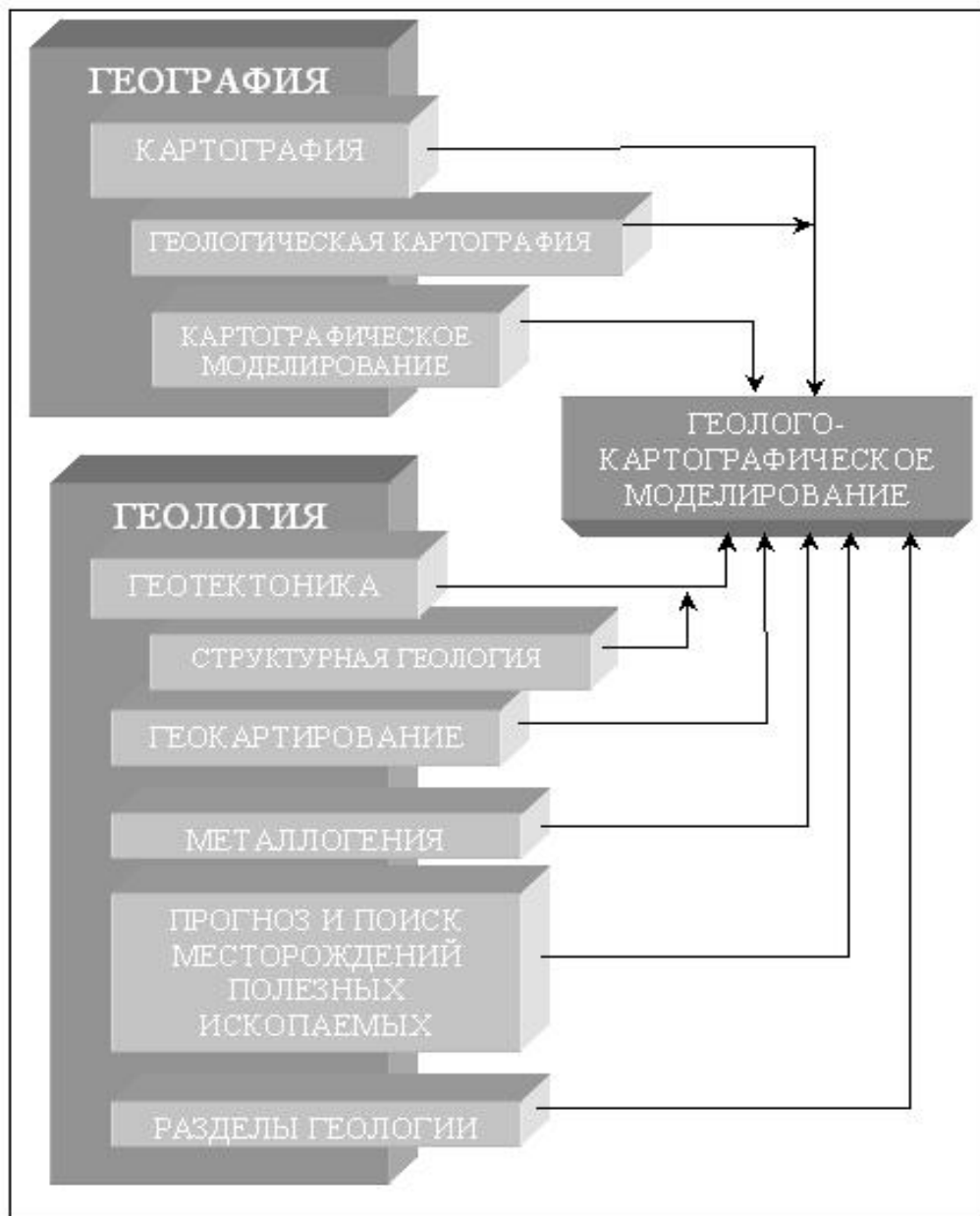


Рисунок 1. Теоретические основы геолого-картографического моделирования

В геологии с моделированием и с моделью всегда ассоциировала блок-диаграмма или вещественная модель какого-либо месторождения, дающее наглядное представление и позицию геологических тел. Определение геолого-картографического моделирования в геологии и тем более его методология никак не раскрывалась. Так, к примеру, термин модель, использовал Ю.А. Косыгин [] при рассмотрении вопросов методологии геотектоники. Сначала он ввел понятие геологическое пространство и разделил его на полноопределенное и неполноопределенное. Полноопределенное геологическое пространство по Ю.А. Косыгину несет в себе элементы прогноза и гипотезы, «... оно представляет собой модель, а его построение – процедуру построения модели» [] - моделирование. Неполноопределенное геологическое пространство «представлено дискретными точками (карта фактического материала, точки геофизических наблюдений и т.д.)». Полноопределенное – «полями сплошной закрашки, разделенными или пересеченными границами (геологические, тектонические и др. карты).» []. Таким

образом, геологическая карта представляется им как геолого-картографическая модель, а не как карта, построенная в результате геологического картирования (геологической съемки).

В геологическом словаре (1973) дается определение модели, как абстрактное или вещественное отображение объектов или процессов, адекватное исследуемым объектам (процессам) в отношении некоторых заданных критериев и приводятся примеры: математическая модель слоенакопления – абстрактная модель процесса, блок-диаграмма – геометрическая модель соотношения геологических тел.

Понятие **картографическая информация** в картографии является широко употребляемым термином без однозначно-строгого научного определения. Затруднение это связано с невозможностью, дать определение информации, как таковой вообще. Информация по сути своей является фундаментальной научной категорией без определения ее через другое понятие или аксиоматическое утверждение. Картографическую информацию надо воспринимать, как информацию вообще, передающуюся через картографическое изображение.

Карта есть «уменьшенное обобщенное изображение поверхности Земли...на плоскости в той или иной картографической проекции и системе условных обозначений. Карта рассматривается, как образно-знаковая модель действительности, обладающая пространственно-временным подобием относительно оригинала, масштабом, метричностью, высокой наглядностью, обзорностью, что делает ее важнейшим средством научного познания в географии, геологии, геофизике, социологии и др. науках о Земле и обществе. Карта рассматривается так же как средство фиксации и передачи информации» [].

В чем заключается отличие карты от картографической модели и собственно процесса построения карт от картографического моделирования?

В картографии картографическое моделирование имеет несколько смыслов. Первый – это процесс создания самих карт в виде моделей действительности определенной территории. Второй смысл - это способ создания картографического изображения. Третий – это анализа картографической информации. Необходимо заметить, что сама карта по определению, рассматривается как картографическая модель. Однако картографическая модель не всегда является картой, как таковой. Отличие картографической модели от карты, может состоять: а) в форме изображения, б) способе построения и в) представлении картографической информации. Если карта это строгое изображение на плоскости, то модель может быть, как плоскостным, так и псевдотрехмерным, трехмерным и даже четырехмерным изображением (при четвертом измерении соответствующему времени – динамическая модель). Способ изображения на карте, в традиционном виде, заключается в составе карты. В состав любой общегеографической, топографической или специальной тематической карты входят:

- математическая основа (проекция, масштаб, геодезическая основа),
- картографическое изображение (гидрография, рельеф, растительность, инфраструктура, дополнительные элементы при специализации карты),
- вспомогательное оснащение (легенда, справочные данные),
- дополнительные данные (текст, профили, диаграммы, графики).

Изображение карты получается при картографической обработке данных картирования. Состав картографической модели аналогичен карте, отличием является принципиально *новое* картографическое изображение, полученное в результате преобразований, совершения определенных действий с имеющимся картографическим изображением. В составе модели всегда присутствуют картографические объекты, которых может и не быть в природе, но которые соответствуют определенным критериям, факторам, свойствам, условиям, связям и взаимосвязям между картографическими объектами или определенным явлениям и процессам. То есть моделирование есть анализ картографической информации. Иным понятием картографического моделирования

является конструирование картографического изображение определенного явления или процесса, как из имеющегося картографического изображения, так и по спроектированным, экспериментально полученным, гипотетическим или теоретическим данным.

В конце XX века (1980-90 гг.), стали широко и быстро развиваться технологии геоинформационных систем, вошедшие в практику при компьютерном построении карт. В 1991 г. в США в Национальном центре географической информации и анализа при калифорнийском университете вышло в свет учебное пособие “CORE CURRICULUM IN GIS” под редакцией М. Гудшилда и К. Кемпа (Michael F. Goodchild, Karen K. Kemp). Это пособий стало теоретическими основами ГИС в нашем отечестве. Дальнейшее развитие новых технологий показало себя, как мощный оперативный инструмент анализа картографической информации, как инструмент картографического моделирования. Первичная операция создания карт технологий ГИС это так называемая компьютерная векторизация или оцифровка картографических объектов ранее созданных топографических карт по определенным правилам. Компьютерно-векторизованная топографическая карта получила название цифровая модель (ЦМ), а векторизованный рельеф – цифровая модель рельефа (ЦМР). Кроме этой операции новые технологии предусматривают возможность создание ЦМ и ЦМР по данным дистанционного зондирования – изображениям АФС, КС, радиолокационным изображениям, по аппаратно-сканированным данным и непосредственно в поле при GPS-съемке, цифровой тахеометрической и иной компьютерно-инструментальной съемке.

На рисунке 2 показан фрагмент визуализированной цифровой модели топографической карты масштаба 1 : 200 000 Пермской области. В таблице 1 дана та же карта в виде цифровой модели в виде фрагмента таблицы – базы данных.

Понятие карты технологий ГИС отличается от традиционного понятия. Карты геоинформационных систем – это компьютерные данные (файл или файлы), содержащие математическую основу определенной карты, числовые картографические изображения, топонимы и информацию в виде чисел и текста. Визуализация карты технологий ГИС производится на компьютере с помощью программ ГИС. Конечно же, всегда можно карту технологий ГИС построить (визуализировать) традиционным способом: распечатать файл (таблица 1) и начертить по координатам картографические объекты. Существует иное определение карты технологий ГИС, как геоинформационных баз данных с атрибутивной и прочей информацией с данными дистанционного зондирования Земли (аэрофотоснимков (АФС), космических снимков (КС) и сканировано-аппаратных данных).

Для геолого-картографического моделирования стало необходимым введения понятия картографический объект. Принимается, что картографическое изображение состоит из картографических объектов.

Картографический объект – это пространственный картографический образ действительного объекта, включающий в себя математическую основу карты, и характеристическую числовую и текстовую информацию.

Картографический объект несет в себе не только пространственную нагрузку, но и информационную (табл. 1). Множество картографических объектов, составляющих картографическую основу, являются базами данных. Картографический объект представляет собой набор чисел и текстовую информацию. Набор чисел является матрицей:

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

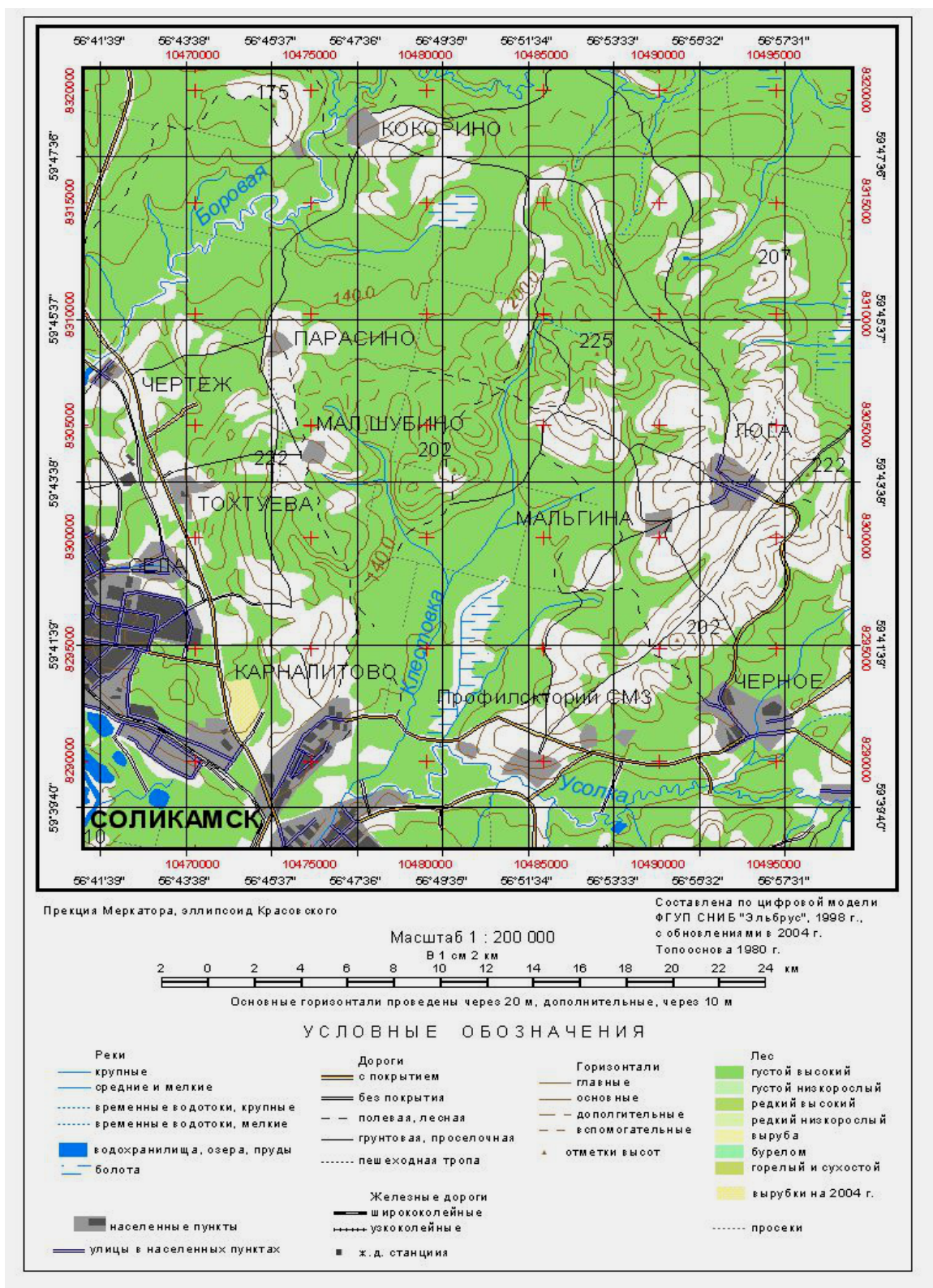


Рисунок 2. Фрагмент визуализированной цифровой модели топографической карты масштаба 1 : 200 000 Пермской области средствами программного обеспечения

Таблица 1. Фрагмент цифровой модели топографической карты в виде таблицы

Система координат географическая WGS, в десятичных градусах, система высот балтийская

№	X	Y	Тип	Название	Район	ОКАТО	Статус	Код
1	59.633523	56.730818	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100000
1	59.633738	56.730888	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100001
1	59.636339	56.732058	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100002
1	59.643454	56.743277	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100003
1	59.644614	56.747408	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100004
1	59.645011	56.750912	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100005
1	59.645496	56.755349	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100006
1	59.645675	56.755705	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100007
1	59.655361	56.760035	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100008
1	59.657374	56.763243	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100009
1	59.658045	56.764313	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100010
1	59.662657	56.790605	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100011
1	59.664959	56.804818	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100012
1	59.663682	56.813323	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100013
1	59.661890	56.812242	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100014
1	59.661369	56.804786	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100015
1	59.659057	56.794831	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100016
1	59.658700	56.794119	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100017
1	59.651674	56.805053	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100020
1	59.644335	56.795412	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100021
1	59.634144	56.796741	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100022
1	59.633523	56.796825	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100023
1	59.633523	56.730818	г.	СОЛИКАМСК	г.Соликамск	57430	Жилой	41100024
2	59.659860	56.754038	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100000
2	59.664529	56.753364	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100001
2	59.667217	56.755957	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100002
2	59.671159	56.759802	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100003
2	59.680100	56.776910	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100004
2	59.681240	56.779316	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100005
2	59.683317	56.783682	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100006
2	59.683268	56.785723	мкр.	КАРНАЛИТОВО	г.Соликамск	57430	Жилой	43100007

Реки - линии

№	X	Y	Тип	Название	Район	КодГидро	КодНав	Код
1	59.828655	56.739267	малая	Корел	г.Соликамск	15	2	311130002
1	59.827518	56.739258	малая	Корел	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.828655	56.722338	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.827904	56.723572	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.827724	56.724285	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.828259	56.726784	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.828075	56.727852	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.827354	56.729630	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.826992	56.732124	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	0	311230002
2	59.826988	56.733906	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.825909	56.736397	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.825905	56.737465	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.826263	56.738182	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
2	59.827518	56.739258	малая	Безымянный	г.Соликамск	15	2	311130002
3	59.828655	56.944528	малая	Сердук	г.Соликамск	15	2	311130002
3	59.828064	56.943928	малая	Сердук	г.Соликамск	15	2	311130002
3	59.827526	56.943920	малая	Сердук	г.Соликамск	15	2	311130002
3	59.827168	56.943562	малая	Сердук	г.Соликамск	15	2	311130002
3	59.826813	56.942486	малая	Сердук	г.Соликамск	15	2	311130002

и т. д.

где n_i – нумерация (индексация) картографического объекта или его части (точки), x_j и y_k – координаты картографического объекта или его части (точки), z_m , p_s , q_b , и т.д. – дополнительные числовые характеристики, кодировка картографического объекта, текстовой информации, топонимы и иная информация. Текстовую информацию всегда можно закодировать или оставить текстом. И математические действия над картографическими объектами сводятся к матричным вычислениям.

1.2. КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ОБЪЕКТЫ

В картографии с использованием технологий ГИС появляется понятие картографический объект, как ни странно, без его определения. Для геолого-картографического моделирования понятие картографического объекта очень важно. Понимание типов картографических объектов и их определения строго регламентируют способы (приемы), методы геолого-картографического моделирования и возможность использования тех или иных объектов при моделировании. Определение картографических объектов необходимо по двум причинам. Первая – техническая для удобства программирования. Вторая и основная – для возможности геолого-картографического моделирования с применением аналитическо-математического аппарата, который возможен только при наличии неких объектов, над которыми можно производить действия и логические операции. Картографические и геолого-картографические объекты и являются этими некими объектами, которые можно одновременно рассматривать и как пространственные объекты и как наборы констант, переменных, функций и матриц. С картографическими объектами существует возможность осуществлять различные действия и операции, и это важное свойство лежит в основе геолого-картографического моделирования. По предложенному определению **картографический объект** – это пространственный картографический образ действительного объекта, включающий в себя математическую основу карты и числовую, текстовую его характеристическую основу. Определение картографического объекта указывает с одной стороны на то, что это пространственный образ, с другой, что это набор информация – база данных.

Типы или классы картографических объектов, следующие.

1. Точка.
2. Линия.
3. Полигон.
4. Поверхность.

Точка – это первичный базовый картографический объект. При детализации карты, уменьшения масштаба, точечный объект может переходить в площадной объект или полигон.

Объект точка, в зависимости от масштаба карты, может переходить в объект полигон, при детализации, уменьшении масштаба. Полигон может переходить в точку, при увеличении масштаба карты, при генерализации. Любой картографический объект можно свести до точки или набора точек. То есть, точка является базисным картографическим объектом.

Линия – это первичный двумерный линейный картографический объект. Может состоят из набора линий различного значения – полилиния, может являться контуром площадного объекта полигона, может являться собственно линейным объектом. Линия состоит из точек и дуг, соединяющие точки, при уменьшения длины дуги до бесконечно малой величины линия может рассматриваться, как множество точек.

Полигон – первичный двумерный площадной картографический объект. Состоит из контура – линии границы, фрагмента поверхности и геометрического центра. При генерализации карты, увеличении масштаба, полигон переходит в точку. Полигон раскладывается на линию и точки.

Поверхность – двумерный или псевдо-трехмерный, производный от первичных картографический объект, являющийся сплошным полем (или фрагментом его). Образуется из множества точечных, линейных объектов при континуализации или из множества полигонов с общими границами. Множество полигонов с общими границами это топология. **Топология** – это 1) правила пространственных отношений между смежными полигональными объектами, используется для пространственного моделирования, не требуя информацию о координатах; 2) правило векторизации

(оцифровки) карт с полигональными объектами. (Не надо путать с разделом геометрии). Псевдо-трехмерная поверхность это трехмерная поверхность по единственному множеству параметров z . Истинно-трехмерная поверхность это набор трехмерных поверхностей по множеству параметров $Z = z_j$.

Аэрофотоснимки (АФС), космические снимки (КС) и иные аппаратно сканированные изображения Земли являются, так называемыми растровыми данными и рассматриваются не как объекты, а как картографическое изображение. При применении допустимых действий над растрами, появляются новые картографические объекты.

Из определения картографического объекта вытекает определение геолого-картографического объекта.

Геолого-картографический объект (ГКО) – это картографический пространственный объект с геологической информацией. ГКО разделяются на типы – точки, линии, полигоны, поверхности.

Специфика геолого-картографической информации заставляет провести более подробный определяющий анализ геолого-картографических объектов и принцип использования, правомочности их при моделировании.

Точка, как геолого-картографический объект – это базисный точечный картографический объект или дискретный геолого-картографический объект апробации. Объекты этого типа без исключения используются при моделировании.

Линейный геолого-картографические объекты – это линейный двумерный картографический объект, являющийся проекцией глубинного трехмерного геологического объекта (плоскости) на дневную или иную другую геологическую поверхность. В традиционных геологических картах линейные геолого-картографические объекты – это геологические границы, тектонические нарушения, специфические границы структур, месторождений, явлений и процессов. Геологические границы могут быть истинными, предполагаемыми, условными, простыми, сложными, составными. *Истинная геологическая граница* соответствует смене формализованных геологических свойств или контуру полигонального геолого-картографического объекта с формализованными геологическими свойствами. *Предполагаемая геологическая граница* указывает предполагаемое место смены формализованных геологических свойств или интерполированный контур полигонального геолого-картографического объекта с формализованными геологическими свойствами. *Простая геологическая граница* указывает на *однозначную* смену формализованных геологических свойств или контур полигонального геолого-картографического объекта с *определенным* формализованным геологическим свойством. *Сложная геологическая граница* определяет *многозначную* смену формализованных геологических свойств или контур полигонального геолого-картографического объекта с *многозначно-определенными* формализованными геологическими свойствами. *Составная геологическая граница* это несколько (более одного) линейных объектов, совпадающих в пространстве, *одновременно, но по разному определяющих* смену формализованных геологических свойств или контур полигонального геолого-картографического объекта с формализованными геологическими свойствами совпадающий с линейным геолого-картографическим объектом с иными формализованными геологическими свойствами. Пример составной геологической границы является граница геолого-стратиграфического подразделения, совпадающая с тектоническим нарушением. *Условная геологическая граница* соответствует смене формализованных геологических свойств по *акцентированному определенному условию* или контур полигонального геолого-картографического объекта с *определенным по условию* формализованным геологическим свойством.

Несмотря на важность и многозначность понятия геологической границы в геологическом картировании, в геолого-картографическом моделировании все геологические границы, являющиеся контурами объектов полигонов, объединяются т.к. они являются составной частью полигонов. При геолого-картографическом

моделировании линии, являющиеся контурами полигонов, не являются объектами моделирования. По ним не правомочно проводить моделирование и осуществлять анализ. Контур объекта линия входит в состав полигона. Моделирование проводится по объектам полигонам, а не по их составляющим.

Другой основной линейный геологический объект это тектоническое нарушение или дизъюнктивная граница. И то и иное является линейным картографическим объектом.

Тектоническое нарушение – линейный геолого-картографический объект, указывающий на разрыв сплошности геологического пространства. Геологическое пространство – пространство, занятое планетой Земля []. Тектоническое нарушение, единственный линейный объект, по которому правомочно вести моделирование. Он не входит в состав иного картографического объекта и является самостоятельным объектом характеризующийся важной геологической информацией.

Полигональные геолого-картографические объекты – это геологические тела и структуры различного рода и генезиса. По своей природе все геологические тела и структуры являются четырехмерными – функция четырех переменных – $f(x, y, z, t)$. На геологических картах они двухмерны, в трехмерных моделях могут быть псевдо трехмерными или трехмерными. В динамических, точнее в квази-динамических моделях добавляется четвертая переменная время (t).

Геологическое тело или структура это часть пространства, выделенная по формализованным геологическим условиям, проекция которого на дневную поверхность является полигональным геолого-картографическим объектом. Геологическое тело или структура может являться геолого-картографической поверхностью или ее определенной частью. Объекты данного типа без исключения используются при моделировании.

Геолого-картографическая поверхность или поле. Пространственные геолого-картографические объекты в виде геофизических полей, геохимических ореолов рассеяния химических элементов в отложениях и породах, структурных поверхностей определенных стратиграфических подразделений, поверхности равных мощностей, поверхности зеркала подземных вод и иных поверхностных построений в геологии составляют тип геолого-картографических поверхностей. Они являются чисто смоделированными объектами и получают либо из точечных, линейных объектов путем континуализации. Либо при топологии – методе построения цифровых карт в технологиях ГИС – в виде множества полигонов с совместными границами (контурами).

Геологическая карта является геолого-картографической топологической поверхностью в виде множества полигонов с общими контурами. При геолого-картографическом моделировании используется в качестве единого объекта – поверхности или в виде выборки из множества по определенному критерию – поверхности по определенному значению, к примеру, развитие пород определенной свиты.

Набор поверхностей с глубиной есть объемная глубинная модель недр.

Объекты данного типа в моделировании используются без исключения.

Изменения параметров матрицы-таблицы объектов во времени является динамической базой данных.

С картографическими объектами, допустимы действия – пространственные операции: сложение, вычитание, объединение, пересечение; математические и функциональные действия с числовыми характеристиками объектов; логические операции булевой алгебры, в том числе, с текстовой информацией объектов.

Картографические объекты делятся на первичные и производные от первичных. Первичные картографические объекты это точка, линия, полигон. Производный картографический объект от первичных объектов это поверхность. Картографическая поверхность может создаваться из суммы полигонов (топология) или путем преобразованием точечных (линейных) объектов в поверхность (континуализация). Допустимо и обратное действие.

1.3. СПОСОБЫ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Характерным отличием картографического моделирования является: а) форма изображения картографической информации, б) способ построения и в) представление картографической информации. При моделировании производится преобразование имеющейся картографической информации, полученной при картировании. Картографическую информацию составляют картографические объекты. Следовательно, преобразование картографической информации сводится к пространственным преобразованиям и к свершениям действий над картографическими объектами. В результате получают новые объекты, полученные не при картировании, а при анализе и действия над закартированных объектами.

Геолого-картографическое моделирование представляется, как любая возможная форма пространственного изображения действительности, в том числе и в виде карт, полученная в результате преобразования картографической информации при различном действии над картографическими и геолого-картографическими объектами.

Принципы геолого-картографического моделирования, аналогичны принципам моделирования принятым в картографии [].

1. Подобия и аналогии
2. Абстрагирования и конкретизации
3. Математизации
4. Анализа и синтеза
5. Системности
6. Генерализации

Принципы моделирования остались без изменения. А вот способы или приемы моделирования в картографии на рубеже XX и XXI веков подверглись революционному изменению. Раньше, в прошлом веке, они делились на три основные части []:

1. Анализ серии карт.
2. Визуальный анализ карты.
3. Анализ с преобразованием картографической информации.

Технологии ГИС резко изменили способы моделирования, оставаясь на старых традиционных принципах моделирования. Как самостоятельный способ анализ серии карт и сопоставление разномасштабных карт по техническим причинам просто не стал выделяться. Теперь есть возможность визуализации любых картографических объектов с карт любого масштаба на одном «полотне». Но при этом нельзя забывать существующее правило картографии. Способ получения изображения мелкого масштаба из первоначально (откартированного) крупного несет в себе серьезные картографические ошибки и принципиально запрещен. Допустимым является получение изображения крупного масштаба из первоначально мелкого. Может ли способ, основанный на визуальном анализе карт, являться способом моделированием. Всегда считалось, что визуальный анализ это традиционный способ не только восприятия картографической информации, но и способ моделирования. Рассмотрим случай. На географической карте определенной территории по результатам визуального анализа создается новый картографический объект, являющийся ареалом объединяющий в себе определенные свойства. К примеру, поверхность с отметками рельефа 150-220 м, соответствующая террасовому уровню речных долин. Выделяя эту поверхность, мы получаем своеобразную модель террасового комплекса. Но с другой стороны, эта операция сводится к статистической выборке из генеральной совокупности таблицы-матрицы рельефа по определенному значению, то есть – совершение действия над картографическим объектом. Принципиально любой результат визуального анализа картографической информации можно свести к результату анализа преобразования информации и

совершения действий над картографическими объектами. Обводя по карте территории с определенными условиями, выделяя на карте определенные объекты с определенными свойствами, или, без измерения по карте, а просто взглядом определяя кратчайший путь, исследователь никогда не задумывался, что он совершает математическую операцию над числовыми данными картографических объектов. Это уникальное свойство карты. Но в прошлом веке, данное свойство картографической информации послужило для выделения своеобразного способа моделирования, как визуальный анализ. Не удивительно, картограф-исследователь просто не имел того, что сейчас имеет специалист ГИС: базы информационных геоданных и пространственные объекты в виде единого целого и оперативный компьютерный инструмент анализа, работающий с объектами не просто, как с пространственной графикой, а как с объектами, к которым применяется аналитическо-математический аппарат. Но это не говорит о том, что картограф не смотрит на карту и не приходит к выводам при визуальном восприятии информации карты. Просто в помощь к нему есть мощный инструмент анализа.

Иные способы получения новых геолого-картографических объектов, не совершая действий над имеющимися объектами, заключаются в получении физико-химических, природно-техногенных данных по приборным, аппаратным, специализированным измерениям или исследованиям при опробовании, по координатно-привязанным точкам. Это способ опробования, принятый в геологии, геофизике, геохимии, геоэкологии. Дополнительными способами получения картографической информации и получения новых картографических объектов в геологии является дешифрирование АФС и КС. Сейчас это дистанционное зондирование по АФС, КС и аппаратно-сканированным данным. Необходимо отметить, традиционный и основной, в некоторых случаях, способ моделирования, как постановка эксперимента на минимизированной модели, полностью повторяющей натуральные явления и процессы. При этом способе получают результаты, которые пополняют картографическую информацию и строятся новые картографические объекты.

Таким образом, способы или приемы геолого-картографического моделирования, с учетом специфики геологического картирования и исследования, разделяются на два основных приема, с определенными действиями, в зависимости от состава использования картографической информации.

Приемы геолого-картографического моделирования.

1. Получение новых картографических объектов:

1.1 Качественно-количественные математические и пространственные преобразование и действия над закартированными картографическими объектами

1.2. Анализ результатов опробования природной среды с целью получения новых картографических объектов

1.3. Дистанционное зондирование

1.4. Экспериментальное моделирование

2. Выявление качественно-количественных и пространственных связей и взаимосвязей между имеющимися и полученными картографическими объектами

1.4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ, ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

Определение геолого-картографического моделирования дается с учетом принципов картографического моделирования, способов геолого-картографического моделирования и геологической специализации.

Прежде всего, геолого-картографическое моделирование является синтезирующим направлением картографии, геологической картографии и геологии. Геолого-картографическое моделирование это и научное направление, и производственный анализ картографической информации. Определение его может быть сформулировано следующим образом.

Геолого-картографическое моделирование – это форма изображения и анализ результатов преобразования картографической информации при совершении действий над имеющимися картографическими и геолого-картографическими объектами. Форма пространственного изображения может быть традиционной в виде карт и иной. Под картографической информацией понимается и любая иная информация, непосредственно или косвенно относящаяся к картографическими объектами.

Основная цель – получение новых картографических объектов, раскрывающих сущность и свойства природных геологических явлений.

Решаемые задачи – вопросы прогностического характера, включающие в себя прогноз месторождений полезных ископаемых, а так же различных природных и техногенных явлений и процессов.

Объекты исследования – картографические, геолого-картографические объекты, геологическое пространство планеты Земля.

Коренное отличие геолого-картографического моделирования от традиционного геологического картирования по определению заключается в получении новых объектов, которые устанавливаются не при картировании территории, а при совершении определенных действий над имеющимися закартированными объектами, а так же при апробации и дистанционном зондировании. Отличие наблюдается в составе и структуре картографической информации. Картографическая информация традиционной карты включает в себя математическую основу карты, вспомогательные и дополнительные данные и совокупность набора картографических объектов, которые собственно и определяют картографическое изображение. Картографические объекты традиционной карты получают в результате топогеодезических и иных специализированных картировочных, съемочных работ и исследований, включая картографирование по АФС, КС и дешифрирование с фиксацией натуральных объектов действительности (рис. 3). Картографическая информация геолого-картографической модели состоит из *новых* картографических объектов, полученных в результате пространственных и математических преобразований над существующими объектами, апробации природной среды, экспериментальных и теоретических данных и дистанционного зондирования Земли (рис. 4).



Рисунок 3. Структура и состав картографической информации карты



Рисунок 4. Структура и состав картографической информации геолого-картографической модели

1.5. МЕТОДЫ ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Методы картографического моделирования, принятые в картографии, критически проанализированы с учетом специфики геолого-картографической информации, использования новых технологий и требований решаемых задач. Выделяемый метод математического моделирования опущен, в виду того, что тот или иной в различной степени сложности математический аппарат, как инструмент, используется во всех без исключения методах. Логичнее выделять математические приемы моделирования, которые входят в состав способов моделирования. На математических приемах основаны качественно-количественные и пространственные преобразования картографических объектов, выявление качественно-количественных связей и взаимосвязей между ними. Предлагается дополнительный метод – анализ факторов подобия, полностью основанным на принципах подобия и аналогии и являющимся ведущим при решении задач прогностического характера. Кратко охарактеризованы теоретическое, экспериментальное моделирование и развивающиеся новые направления. Так же рассмотрены методы моделирования по АФС и КС, как дистанционное зондирование и кратко метод моделирования по аппаратным сканированным данным. Последний является новым направлением в исследовании Земли из космоса, возможности его очень большие, но пока в применении он ограничен. Другим, из развивающихся и потенциально ведущим направлением, является метод объемного или глубинного моделирования, очень важный для геологии соей возможностью построения глубинных моделей недр.

Методы объединены в три основные группы по способам моделирования и работе с различными объектами.

1. АБСТРАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
 - 1.1. Теоретическое
 - 1.2. Экспериментальное (моделирование по экспериментальным данным)
2. ФАКТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ
 - 2.1. Анализ факторов подобия
 - 2.2. Построение и анализ геолого-картографических поверхностей (полей)
 - 2.3. Объемное (глубинное) моделирование
3. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ
 - 3.1. Моделирование по АФС и КС
 - 3.2. Моделирование по аппаратным сканированным данным

1.5.1. АБСТРАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Абстрактное моделирование в геологии довольно широко развито, особенно в исторической геологии, тектонике, палеогеоморфологии, гидрогеологии.

Абстрактное геологическое моделирование разделяется на теоретическое моделирование и моделирование по экспериментальным данным.

1.5.1.1. Теоретическое моделирование

Теоретическое моделирование это моделирование, в основу которого положены определенные научные теории или гипотезы. В процессе теоретического моделирования, проводится абстрагирование основной идеи и на основании этого, осуществляются картографические построения. Абстрактные картографические модели очень удобны для отработки принципов и методики исследований и различаются на *собственно теоретические* и *гипотетические*. В основу теоретических моделей положены научные теории, обоснованные и имеющие подтверждение. В основе гипотетического моделирования лежат рабочие гипотезы.

Теоретическое моделирование осуществляется на принципах моделирования с использованием способов моделирования с преобразованием и осуществлением действий над картографическими объектами.

Собственно теоретические модели это, карты районирования, по какому либо принципу, карты прогноза полезных ископаемых по минералогеническим факторам и пр. Одной из лучших теоретических моделей, на основе подтвержденной теории движения литосферных плит, является карта мира со срединными океаническими хребтами и литосферными плитами, а так же ставшими классическими, модели Земли в различные геологические эпохи с различными положениями материков. Данные модели постоянно присутствуют в различных учебниках по общей геологии.

Гипотетические модели это карты или модели, в основу которых положена рабочая гипотеза. В качестве существующих гипотетических геологических моделей можно перечислит различные карты прогноза явлений, процессов или месторождений полезных ископаемых, которые абстрагируют гипотетический фактор или факторы.

Основной способ теоретического моделирования:

1. Получение новых картографических объектов:

1.1 Качественно-количественные математические и пространственные преобразование и действия над закартированными картографическими объектами

1.3. Дистанционное зондирование

2. Выявление качественно-количественных и пространственных связей и взаимосвязей между имеющимися и полученными картографическими объектами

Как правило, при теоретическом моделировании не используется способ апробации природной среды. Но в некоторых теоретических моделях отчасти могут использоваться результаты апробации.

1.5.1.2. Экспериментальное моделирование

Экспериментальное моделирование осуществляется на основе данных полученных при экспериментах на минимизированной рабочей модели, по которой проводятся изучение, анализ и осуществляется вывод результатов определенных интересующих процессов или явлений. Довольно часто применяется в гидрогеологии, динамике подземных и поверхностных вод, в горном деле, при тектоническом моделировании.

Сущность метода в следующем. Строится минимизированная модель по подобию и аналогии природному объекту, стремящаяся повторить натуральные условия. На данной модели проводится определенный процесс, так же стремящийся повторить природный процесс. Результаты смоделированного процесса формируются в данные, которые имеют свойство картографической информации, по которым можно построить новые картографические объекты. На основе полученных экспериментальных данных и обработанных результатов строятся картографические модели с новыми объектами.

Основные способы картографического моделирования:

1.4. Экспериментальное моделирование

и окончательный этап

1. Выявление качественно-количественных и пространственных связей и взаимосвязей между имеющимися и полученными картографическими объектами.

1.5.2. ФАКТОЛОГИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Фактологическое моделирование это моделирование по фактам, имеющимся данным, картографическим объектам с учетом факторов и критериев связи и взаимосвязи между ними. Для понимания фактологического моделирования необходимо определить понятие факта и фактора (критерия).

Факт есть научно-философское понятие, а в последнее время, понятие информатики. Информация не имеет строго определения, являясь основным фундаментальным понятием науки. Информация состоит из множества фактов, их наборов, совокупностей и систем. Но создает ли один факт информацию. Безусловно, это тоже информацией, в основу которой положен единственный факт, т.е факт, как таковой, являются основой информации. Что представляет собой факт? Утверждение «да» или «нет», любое число, выражение, функция или иное все это является фактом. Отсутствие утверждения, числа, функции, или иного, т. е, вообще, пустое множество или «ничто» - является ли это фактом? Отсутствие факта не есть его полное действительное отсутствие, а может означать наличие отрицающего факта. Следовательно, факт это первичный элемент информации, но это не «бит», как в информатики, хотя «бит» и является фактом. Факт характеризует определенный объект, явление, процесс или нечто иное. Поэтому для определения факта необходимо ввести дополнительное понятие – нечто, что характеризует факт. Этим нечто является «объект» или «явление». Объект это та субстанция, которую характеризует факт. В качестве характеризующего фактом объекта в нашем случае принимается геолого-картографический объект. Определение геолого-картографического, картографического объекта состоит из двух частей. Первая часть говорит нам о том, что объект это есть пространственный образ, соответствующий действительному объекту или явлению. Вторая часть определения, раскрывает нам то, что объект несет в себе информацию, как математической основы карты, пространственную, так и любую иную информацию, характеризующий объект. Получается, что фактом является информационная часть геолого-картографического объекта. Наблюдается неразрывность факта и объекта. И с другой стороны даже простое наличие объекта является фактом. Определение факта, можно представить, как наличие пространственной, качественной и количественной характеристики геолого-картографического объекта. *Геолого-картографическим фактом* является геологическая, качественная или количественная информация картографического объекта. В широком смысле геолого-картографический факт и геолого-картографический объект являются понятиями синонимами.

Одним из основных вопросам науки является установление закономерностей между фактами и явлениями. При выводе закономерностей учитываются факторы или критерии, влияющие на формирование закономерностей. В общем смысле фактор - это некое

условие формирования закономерности между фактами, или условие отсутствия закономерностей между фактами. Исходя из этого, *геолого-картографический фактор*, понимается, как некое условие связи или отсутствие связи, взаимосвязи между фактами или геолого-картографическими объектами.

Главное при фактологическом анализе не принять не установленную связь или взаимосвязь между объектами за ее отсутствие.

1.5.2.1. Анализ факторов подобия

Основная задача данного метода - решение задачи прогностического характера, установление пространственных, качественных и количественных связей между объектами процессами и явлениями. Метод основан на prerogative принципа картографического моделирования - подобия и аналогии.

Пусть, имеется некая совокупность картографических объектов, отраженная на абстрактной карте (рис. 5). Поле карты рассматривается, как первичная матрица, в виде сетки квадратов (прямоугольников), причем размерность квадратов зависит от вопросов решаемой задачи и может определяться исследователем самостоятельно.

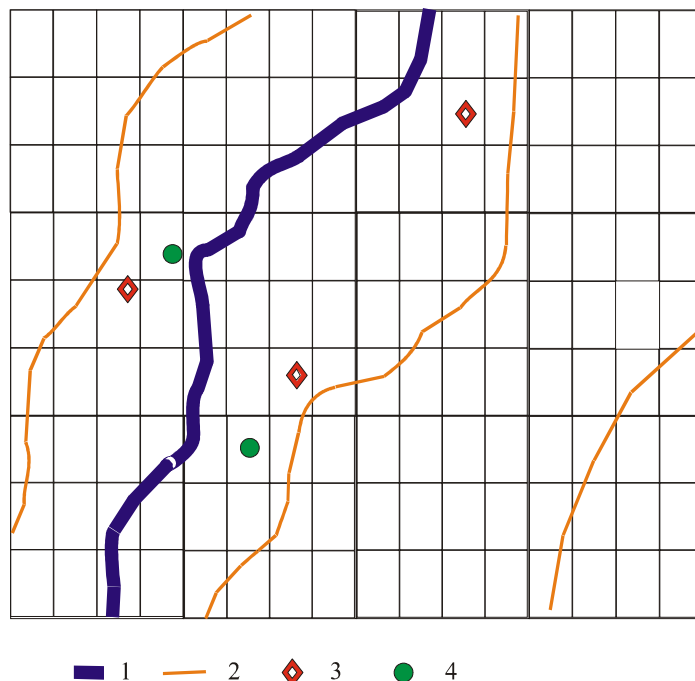


Рисунок 5. Карта с картографическими объектами в виде пространственной матрицы. Картографические объекты: 1 – река, 2 – горизонталы, 3 – объект «п», 4 – объект «т»

Объекты 1 и 2 являются фиксированными, объекты 3 и 4 вариантными, т.е. существуют места с возможными их дополнительными находениями, но не нанесенные на карту (не закартированы).

При условиях поставленной задачи величина площади квадрата не обязательно должна стремиться к бесконечно-малой или быть соизмеримой с размером объектов. На карте присутствуют объекты: 1 – река, 2 – горизонталы, вдоль реки со значением 200 м, в правом нижнем углу со значением 300 м, 3 – некий объект п и объект 4 – условный объект т. Поставлена задача: найти (смоделировать) возможные места на карте для объекта типа т, т.е. провести прогноз возможных дополнительных мест объекта т.

Типы объектов на карте различны. Фиксированные объекты – это линейные объекты, а объекты п и т – точечные. Вводится поле объекта, буферная зона. Для точечных объектов – поле это наиболее пространственно-вероятное место его нахождения, для линейных фиксированных объектов это буферная зона определенной установленной ширины в зависимости от условий. Размер поля может быть различным и зависит от

поставленной задачи, а так же определяется условиям и свойствам нахождения самих объектов. Зададим поля объектов соразмерными с размером ячеек первичной матрицы карты, допуская, что это определяется известными условиями (рис. 6). Для линейных объектов - буферная зона шириной 2 ячейки от линий горизонталей и в 1 – 2 ячейки от линии рек. Для точечных объектов поле 3 x 3 ячейки по допускающимся известным условиям. Зависимость условий, по которым определяются поля объектов, различны. К примеру, поле для объекта реки может соответствовать пойме реки.

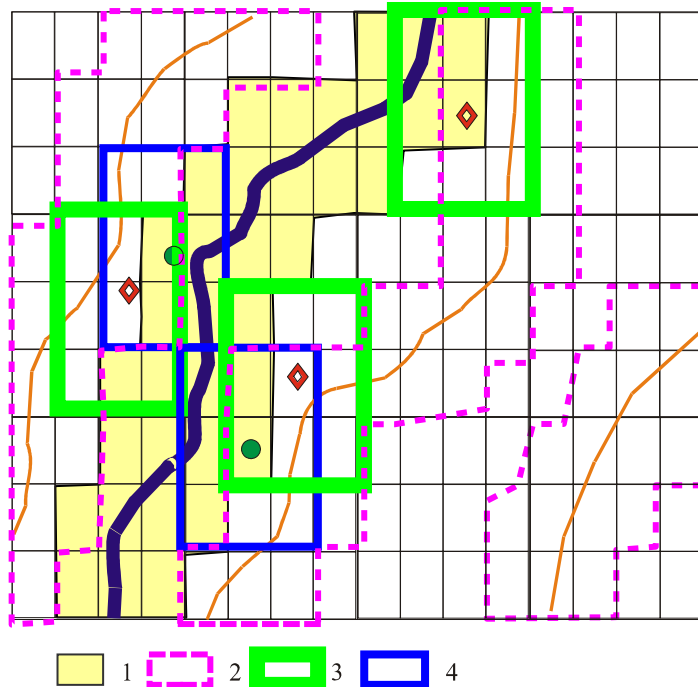


Рисунок 6. Карта с определенными полями картографических объектов. 1 – буферная зона реки, 2 – буферные зоны горизонталей с отметками 200 и 300 м, 4 – поле точечного объекта *n*, определенная по известному условию, 5 – поле точечного объекта *m*, определенная по условию.

Поля объекта *m* имеют пространственную связь с полями объектов 1 - река; с одним из объектов 2 – горизонталь с отметкой 200 и с объектом *n*. Объект *m* встречается в поле объекта реки, в поле горизонтали 200 м и в поле объекта *n*. Иными словами, объект *m* встречается в пойме реки, рядом с отметками рельефа 200 м в близости к объекту *n*. Выделяется три фактора возможного нахождения объекта *m*: 1) пойма реки, 2) рельеф, тяготеющий к 200 м, 3) близость объекта *n*, которая может быть рассчитана математически. Пространственная операция над полями объектов заключается в выделении мест с суммой трех полей объекта 1; 2 и *n*. Вероятное нахождение объекта *m* обусловлено тремя факторами – пересечением полей 1; 2 и *n*. На этом принципе строится новый картографический объект, соответствующий местам на карте, где объединяются поля объектов 1; 2 и *n*. Ячейки на карте, удовлетворяющие этому условию, выделены красным цветом (рис. 7).

Таким образом, получается карта-модель прогнозных мест, в которых возможно обнаружения объекта *m*, но только не надо забывать о том, что решение несет в себе определенную долю вероятности, которая в свою очередь зависит от выбранного шага сетки ячеек. Чем больше шаг сетки, тем меньше вероятность. Здесь рассмотрен принцип решения поставленной задачи и принцип моделирования объекта по факторам подобия.

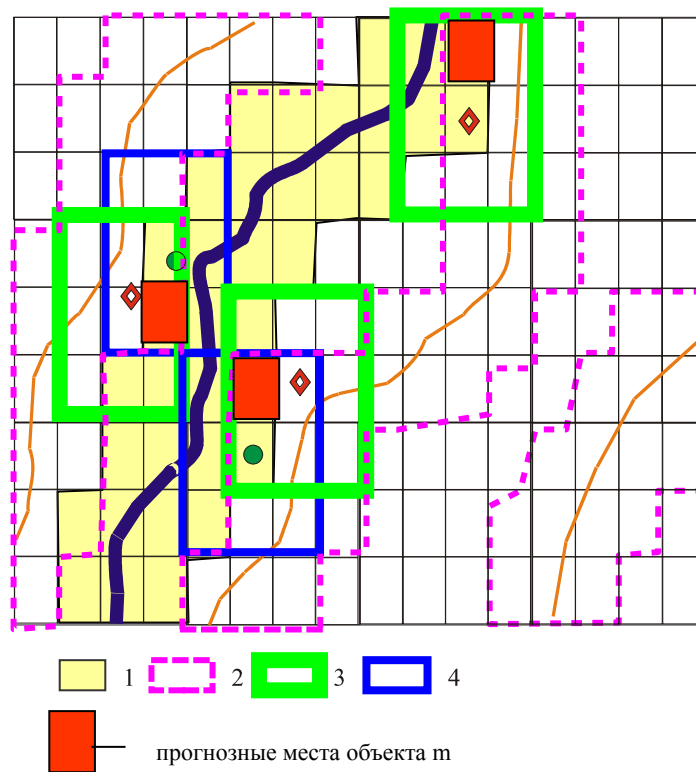


Рисунок 7. Карта прогнозных мест объекта m . Условные обозначения на рис. 5-6.

Математический аппарат решения данной задачи выглядит следующим образом. Первичная матрица карты (A) задает размерность матрицы и характер чисел (либо координаты, условные числа или чисто машинные, имеется в виду компьютерные разбивки). Поля объектов, выделенные по определенным условиям из первичной матрицы, так же являются матрицами, но иного меньшего размера (иного порядка), либо выделенные при преобразовании первичной матрицы с элементами равными нулю в местах отсутствия объекта. Матрица полей объект 1 определяется, как:

$$A_1 = \xi_1 A, \quad (2)$$

где ξ_1 - преобразование над первичной матрицей при определенных условиях, подстрочный индекс 1 означает номер объекта 1, для которого определены условия преобразования (соответственно и для иных объектов), A_1 - пространственная матрица объекта 1, A - первичная матрица.

Аналогично определяются матрицы полей объектов 2, n и m , соответственно:

$$\begin{aligned} A_2 &= \xi_2 A, \\ A_n &= \xi_n A, \\ A_m &= \xi_m A \end{aligned} \quad (3)$$

и

$$A_x = A_1 + A_2 + A_n$$

или

$$A_x = A (\xi_1 + \xi_2 + \xi_n), \quad (4)$$

при $\xi_1 + \xi_2 + \xi_n = \Psi$

$$A_x = \Psi A, \quad (5)$$

где A_x – матрица решения по параметру факторов подобия Ψ , который, в данном случае, соответствует сумме трех факторов ($\xi_1 + \xi_2 + \xi_n$). Параметр Ψ не всегда может под собой подразумевать сумму преобразований, как в данном случае, а может определять совсем другие действия, математические, статистические функциональных и иные преобразований в зависимости от задачи.

Благодаря инструменту технологий ГИС действия и любые преобразования над картографическими объектами решаются автоматически компьютерным способом. Исследователю только остается решить вопрос, по определению ξ_i – условия преобразования первичной матрицы для получения матрицы i -го объекта, т.е. выделения вероятного поля существования определенного объекта. Для каждой определенной задачи, условия свои и, чтобы их определить иногда приходится прибегать к дополнительным математическим расчетам и картографическим построениям. Это творческая задача геолого-картографического анализа факторов подобия. При существовании различных условий преобразований, сущность метода остается постоянной и соответствует основной формуле (5). А основной принцип, на который опирается метод, является принцип подобия и аналогии - смоделировать объект A_x подобный объекту A_m . Еще в 1986 г. А.М. Берлянт указал на сходство модели (М) и объекта (А) в заданном i -м отношении, как

$$M = C_i A, \quad (6)$$

где C_i – критерий подобия, некая безразмерная константа, удостоверяющая правомерность распространения выводов, полученных с помощью модели, на реальные объекты. По формуле А.М. Берлянта и формуле (5) можно вывести основную формулу подобия смоделированного объекта по подобному объекту:

$$A_x = C_i A_m \text{ и при } C_i = \Psi A$$

$$A_x = \Psi A A_m, \quad (7)$$

где $\Psi A = C_i$ есть критерий подобия по Берлянту или преобразование первичной матрицы карты, A_m – объект подобия, A_x – смоделированный объект (в т.ч. может быть и производным от первичных, например – картографическая поверхность).

Математическое определения объекта подобия формулируется, как смоделированный объект прямо пропорционален объекту подобия, первичной матрице карты по параметру факторов подобия. Или. Смоделированный объект соответствует объекту подобия на карте с учетом параметра факторов подобия.

С точки зрения теории множеств, решение данной задачи соответствует пересечению множеств: $M_x \in (M_1 \cup M_2 \cup M_n)$, где M – соответственно множества полей объектов.

Основными способами метода моделирования могут быть все, кроме приемов экспериментального моделирования.

1. Получение новых картографических объектов:

1.1 Качественно-количественные математические и пространственные преобразование и действия над закартированными картографическими объектами

- 1.2. Анализ результатов апробации природной среды с целью получения новых картографических объектов
- 1.3. Дистанционное зондирование с целью
2. Выявление качественно-количественных и пространственных связей и взаимосвязей между имеющимися и полученными картографическими объектами

Для наглядного примера, действия метода анализа факторов подобия, взята достаточно хорошо изученная в геологическом отношении часть территории Горнозаводского района Пермской области (рис. 8).

Карта построена по разгруженной ЦМ рельефа изначального масштаба 1 : 500 000 в проекции Меркатора с сечением горизонталей 100 м. По р. Койве и ее притокам издревле были известны россыпи золота и алмазов, на сегодня отчасти отработанные почти полностью. На карту вынесены места концентраций золота и алмазов, соответствующие максимальным содержаниям встреченные в россыпях. Поставлена задача: спрогнозировать предполагаемые неизвестные, но возможные россыпи алмазов и определить вероятные места их возможных первоисточников. Задача минимизирована, по ЦМ имеется: рельеф, речная сеть, населенные пункты, граница Пермской и Свердловской областей. Два последних объекта вряд ли пригодятся для моделирования. Добавочно имеется два точечных картографических объекта: места максимальных концентраций золота и алмазов в россыпях. Известно, что гидродинамические условия концентрации золота и алмазов по некоторым параметрам тождественны. Всего получается 4 картографических объекта, два из которых геолого-картографические.

Для решения поставленной задачи необходимо определиться с факторами подобия. От выбранных и установленных факторов зависит правильность прогноза. Необходимо исключить возможность неустановленных связей и использовать максимально-возможное количество факторов подобия. В стратегии моделирования будет рассмотрен вопрос о количестве возможных факторов подобия и использовании минимально-допустимой и максимально-возможной геологической информации.

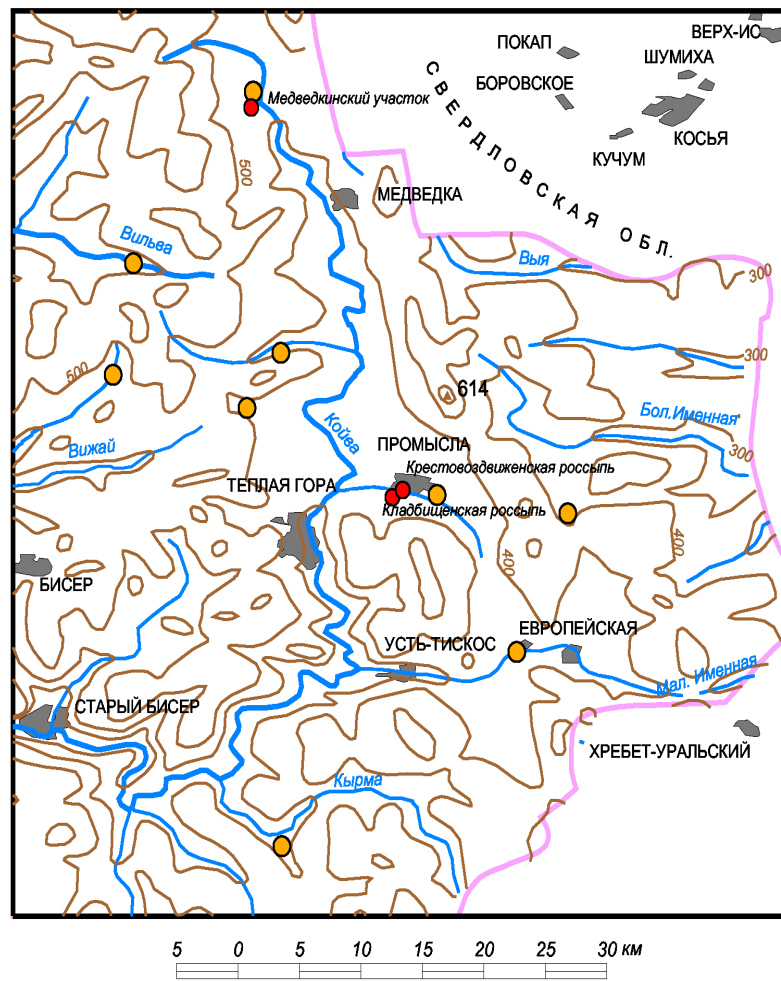
Шаг первый. Из имеющихся картографических и геолого-картографических объектов определяем значение количества возможных факторов подобия. Всего объектов 6, 2 из которых логически отрицаются:

$$N = n - h, \quad (15)$$

где N - количество объектов взятых для моделирования, совместно с моделируемым объектом, n – всего количество объектов карты, h – количество объектов, логически отвергаемое для моделирования в виду отсутствия возможных связей. Определяем существующее значение возможных факторов подобия по N объектам моделирования. Для этого необходимо, попарно сопоставить объект подобия с имеющимися объектами и, получаем количество факторов подобия (P):

$$P = N - 1, \quad (16)$$

В данном примере, $N = 6 - 2 = 4$ и $P = 4 - 1 = 3$ – факторов подобия. При выделении факторов рассматривается парная сопоставимость моделируемого объекта с существующими объектами для установления наличия или отсутствия связи. Если сначала попарно сопоставить имеющиеся объекты между собой для установления связей между ними, а затем установленную связь сопоставить с моделируемым объектом, то количество возможных факторов подобия также соответствует значению $N - 1$. Это показано на схеме сопоставления объектов (рис. 9) и выводится ниже.



Места максимальных концентраций в россыпях: ● золота ● алмазов

Условные обозначения

1

2

Рисунок 8. Разгруженная визуализированная ЦМ части территории Горнозаводского района Пермской области с местами максимальных концентраций золота и алмазов в россыпях. Места концентрации (максимальных содержаний): 1 – золота, 2 – алмазов.

Вычисления количества факторов основано на комбинаторике. Формула сочетания, соответствует

$$C_n^k = n! / ((n - k)! k!) , \quad (17)$$

где n – объекты карты, по которым ведется моделирование, без объекта моделирования, на рисунке 9 это объекты за номером 2. И при $k = 1$ (количество моделируемых объектов) число сочетаний соответствует $C_n^1 = n$.

Общее количество факторов всех связей (рис. 9), замыкающихся на объекте моделирования определяется формулой:

$$P = 2(N - 1), \quad (18)$$

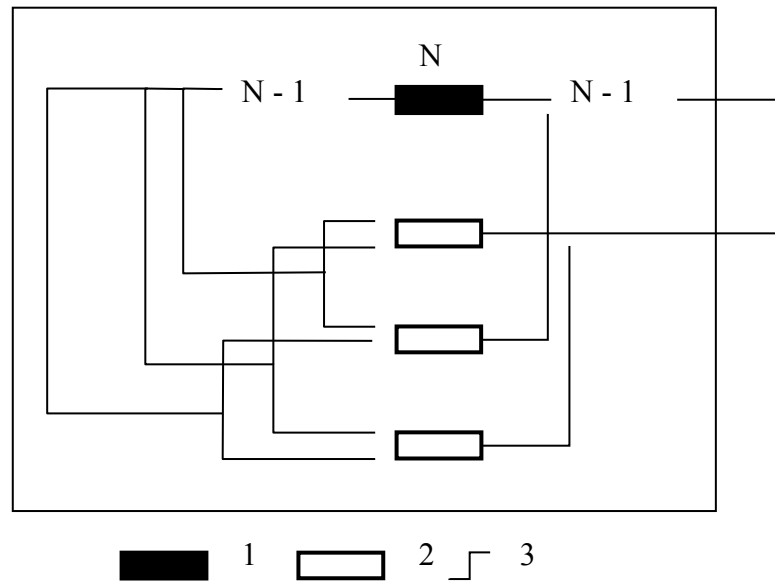


Рисунок 9. Схема сопоставления объектов для установления количества факторов подобия.

1 – моделируемый объект, 2 – объекты используемые для моделирования, 3 – сопоставления

где 2 – некий коэффициент, увеличивающий в 2 раза количество возможных факторов, определяемых взаимосвязями между существующими объектами. Разберем это более подробно, по примеру. Получаемое количество факторов подобия между объектами равно 6, причем 3 из них это факторы, определенные взаимосвязью между моделируемым объектом и объектами, взятыми для построения модели и 3 фактора, основанные на связях по связям объектов друг с другом и с моделируемым объектом. Если первые 3 фактора понятны, то 3 вторых несколько трудны для понимания. Обналичим объекты, используемые для моделирования на рисунке 9, в соответствии с существующими объектами карты (рис. 8), сверху вниз: рельеф, реки, места максимальных содержаний золота. Тогда первая связь (левая часть рисунка 9) между объектами определяет отношение рельефа и рек – связь понятна и предопределена – реки текут в пределах долин и долины развиты, там, где текут реки. Связь по связи – возможные места встречаемости максимальных концентраций алмазов в россыпях, там, где существует взаимосвязь рельефа и рек. Но, по правой части рисунка 9, аналогичные связи уже существуют по отдельности с реками и рельефом. Вторая связь между рельефом и местами максимальных концентраций золота, определяет взаимосвязь между скоплением золота в определенном рельефе, а связь по связи - возможные места встречаемости максимальных концентраций алмазов по взаимосвязи золота и рельефа. С другой стороны, связи между возможными местами алмазов, рельефом, реками и максимальными концентрациями золота рассмотрены по отдельности (правая часть рисунка 9). Таким образом, связи по связям повторяют установленные связи и некий коэффициент, увеличивающий количество факторов в 2 раза и для моделирования не нужен. Он показывает взаимосвязи объектов друг с другом. Количество факторов подобия определяется формулой 16.

Может вызвать ложное затруднение определение объектов h – логически отвергаемых для моделирования. Тут необходимо рассуждать действительно логически. Как может влиять не материальный объект – граница области, на места распределения алмазов? Наверное, никак. Также и относительно влияния населенных пунктов.

Шаг второй. Количество факторов подобия установлено – 3. Теперь необходимо их выяснить. Первый фактор (по связи на рисунке 9) взаимосвязь рельефа и мест максимальных концентраций алмазов. Для выяснения данного фактора построим поверхность рельефа и выясним, с какими отметками рельефа или его интервалом связаны концентрации алмазов (рис. 10). Интервал рельефа, совпадающий с концентрацией алмазов, соответствует 400 – 500 м – отмечен зеленым цветом. Более точный – 400 – 450 м. В качестве вариантов фактора берется максимальный интервал в 400 - 500 м (не надо забывать, что ЦМ карты соответствует масштабу 1 : 500 000) и интервал в 400 – 450 м. Итак, первый фактор установлен - благоприятный рельеф для мест максимальных концентраций алмазов.

Второй фактор – взаимосвязь рек и концентрация алмазов в россыпях. Для этих целей вычисляю среднее значение ширины долин рек данной территории совместно с террасовым комплексом. После статистической обработки округленное значение составило 2 000 м. Строю дополнительный полигональный картографический объект – буферные зоны рек, соответствующей ширины. Второй фактор определен – средняя ширина долин рек.

Третий фактор – взаимосвязь встречаемости алмазов со встречаемостью золота. Для этих целей по карте вычислим максимально-известное расстояние от мест концентрации золота до мест концентраций алмазов. У п. Промысла оно составляет 1, 8 – 3 км. Построим дополнительный полигональный картографический объект – буферные зоны в виде окружности радиусом 3 км с центром объекта концентраций золота. Третий фактор определен – ореолы связи концентраций золота с алмазами.

Итак, факторы подобия: первый – благоприятный рельеф, второй долины рек, третий – ореолы связи концентрации золота с алмазами.

Шаг третий. Смоделируем места возможного нахождения не установленных россыпей алмазов. Для этих целей необходимо выделить на карте места с сочетанием всех трех факторов. Построим карты-модели и выделим территории с наличием трех факторов (рис. 11). По выделенным территориям с наличием трех факторов отстроим новый картографический объект - смоделированный объект – прогнозные россыпи алмазов.

Моделирование проводится в двух вариантах по различным интервалам благоприятного рельефа. В первом – благоприятный рельеф для концентраций алмазов 400 – 500 м, во втором – 400 – 450 м. По первому варианту прогнозные россыпи алмазов – истоки Вильвы, Средняя Северная Рассоха, приток Вижая, Большая Шалдинка, правый приток р. Койвы и излучина Койвы; по второму варианту - Большая Шалдинка и излучина Койвы. В обоих вариантах не выделен участок р. Полуденка сочетающий три фактора алмазоносности, просто за ненадобностью. Большая Шалдинка и излучина Койвы выделяется по обоим вариантам. Касаемо излучины Койвы – прогноз весьма правдоподобен, благоприятные гидродинамические условия накопления, как алмазов, так и золота. По смоделированным прогнозным россыпям выделяются территории их питания, с учетом рельефа, - они же прогнозные территории первоисточников алмазов. Получается своего рода моделирование по смоделированным объектам. С целью анализа результата смоделированные прогнозные территории первоисточников алмазов по обоим вариантам наносятся на геологическую карту (рис. 12) масштаба 1 : 200 000. На геологической карте территории прогнозных первоисточников алмазов включают вильвенскую свиту нижнего венда ($V_1 vI$) филлитов, слюдисто-кварцевых, слюдисто-хлорито-кварцевых сланцев, кварцито-песчаников с прослоями тиллитовидных, часто редкогалечных конгломератов; объединенный средний и верхний ордовик (O_{2+3}) доломитизированные известняки, глинистые доломиты, мергели, известковисто-глинистые сланцы, прослойки песчаников, в основании песчаники и конгломераты; отложения силура (S) доломиты с прослоями известняков, глинистые сланцы; нерасчлененные отложения нижнего и среднего девона (D_{1-2}) известняки, аргиллиты, алевролиты, кварцевые песчаники. Кроме этих пород на территории объектов находятся

дайки, силлы усвинского габбродолеритового магматического комплекса нижнего девона (β D_{1us}) габбродолериты, долериты, а так же небольшие штоки кузьинско-промысловского пирокрит-эсекситового гипабиссального венд-кембрийского магматического комплекса (ϵ л V₁ – Э ks-pr) пирокриты, щелочные пикриты.

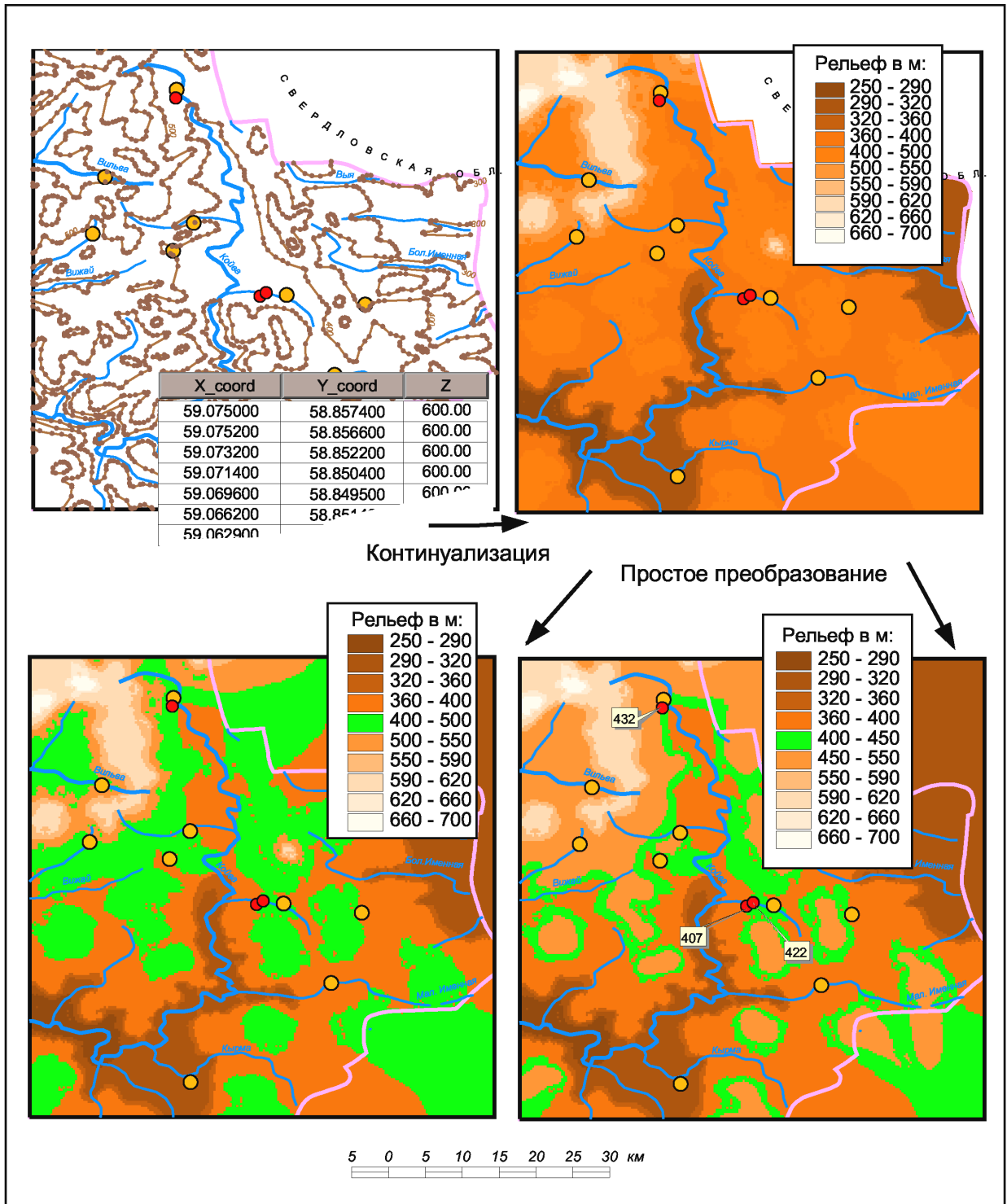


Рисунок 10. Взаимосвязь рельефа с местами концентраций алмазов

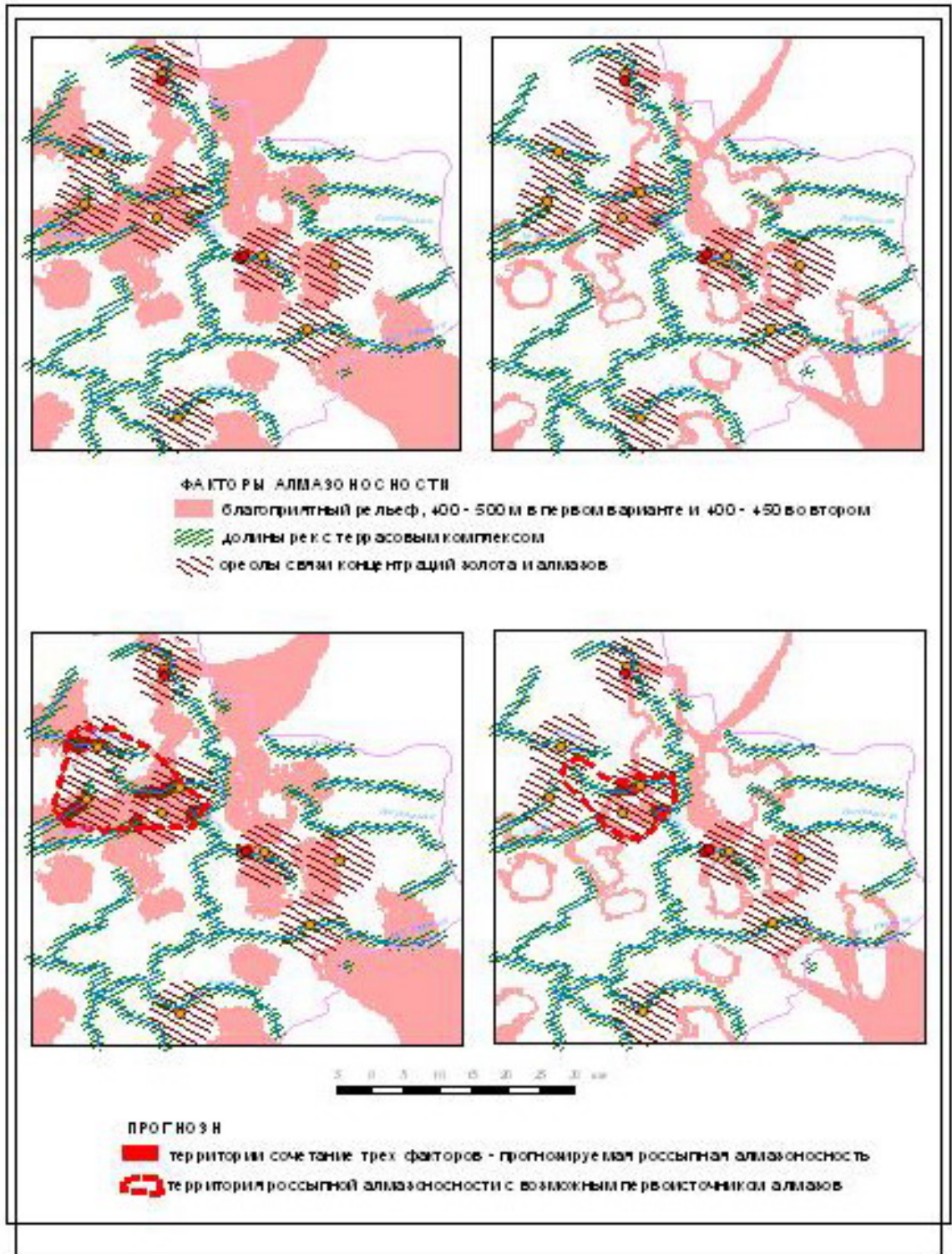


Рисунок 11. Анализ факторов алмазности

Факторы алмазности: 1 – благоприятный рельеф, 400 – 500 м в первом варианте и 400 – 450 во втором, 2 – долины рек с террасовым комплексом, 3 – ореолы взаимосвязи концентраций золота и алмазов. Прогнозные территории: 4 – россыпей алмазов (сочетание трех факторов алмазности), 5 – первоисточников россыпей

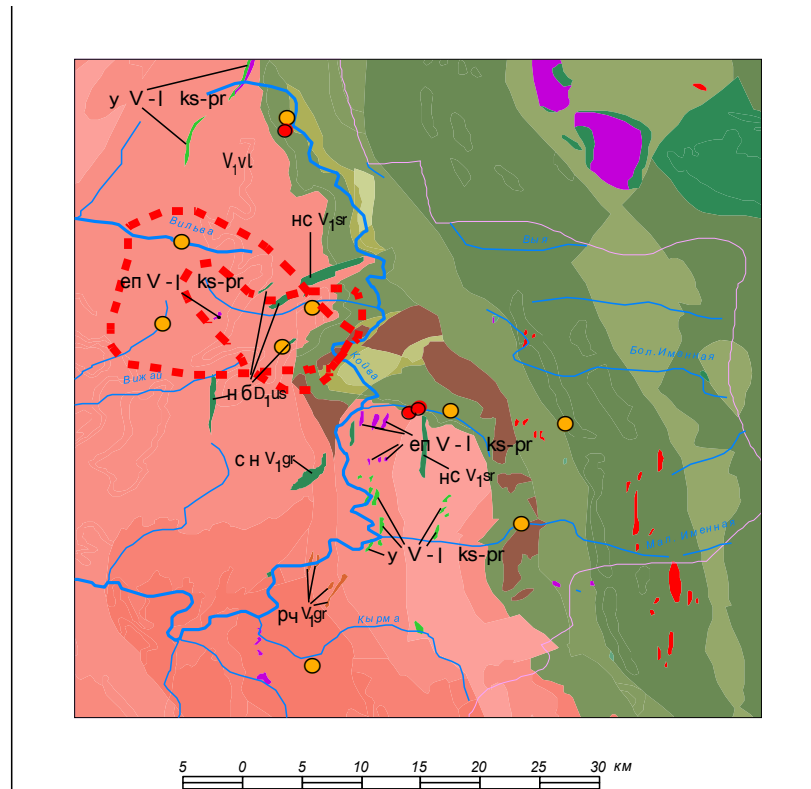


Рисунок 12. Анализ результатов моделирования

Данный комплекс ассоциируется по некоторым представлениям с пикрит-кимберлитовой магматической формацией.

Определен закон, количество факторов подобия, которое прямо пропорционально количеству объектов моделирования. Остался не решенный вопрос. Сколько объектов необходимо для наиболее достоверного моделирования. Ответ на этот вопрос раскрывается в главе методика моделирования.

1.5.2.2. Построение и анализ геолого-картографических поверхностей (полей)

Метод построения и анализ геолого-картографических поверхностей широко развит в геофизике, геохимии, палеогеморфологии, структурной геологии, не исключая и прочие подразделы теоретической и практической геологии. Построение и анализ поверхностей выделяется, как метод геолого-картографического моделирования из-за того, что сама поверхность уже является смоделированным объектом. При анализе картографических поверхностей, могут учитываться первичные объекты, тогда он объединяется с анализом факторов подобия. Основным приемом построения поверхности является континуализация (рис. 10) – преобразование точечных первичных объектов в поверхность. Система объектов полигонов, имеющих общие границы и закрывающие поверхность карты, так же представляют собой картографическую поверхность, спроектированную на плоскость (топология – рассмотрена выше). Поверхность топологии не является смоделированным объектом, а относится к закартированным объектам, преобразованным особым образом. Другой способ построения поверхностей основан на математических и математическо-статистических приемах: аппроксимация, построение статистических поверхностей, корреляционные карты и карты, построенных на основании исследований регрессионного, дисперсионного, факторного, компонентного и иных

анализах, а так же экстраполяция, интерполяция структурных поверхностей и геофизических полей. Таким образом, способы построения поверхностей подразделяются на три различных вида:

1. Континуализация
2. Математизация
3. Топология

Перед применением континуализации часто приходится сначала математически обработать исходные данные, а потом уже по приведенным данным строить поверхность. Математические способы применяются не только непосредственно в построении самой поверхности, но и при обработке данных картографических, геолого-картографических объектов с целью получения необходимых результатов для построения интересующей поверхности. Прием континуализации является завершающим после математической обработки данных.

Выбранный прием построения поверхности или, тем более, комплекс приемов уже включает в себе анализ геолого-картографической информации. Анализы геолого-картографических поверхностей разделяются на два основных направления:

1. Анализ без применения действий над поверхностями
2. Совершение действий над поверхностями с анализом результата

Первое направление основано на том, что, построенная поверхность сама является результатом проведенного анализа. Структура и формы поверхности показывают результат анализа. Второе направление основано на том, что для достижения результата необходимо проведение допустимых действий с поверхностью или системой поверхностей. Действия подразделяются на пространственные операции и математические действия (в т.ч. использование функций, математическо-статистических методов, булеву алгебру и логические операции).

Математический смысл построения и анализ любой поверхности следующий.

Пусть имеется первичная матрица карта A и матрица A_q с набором определенных установленных значений, по которой необходимо построить поверхность (матрицу A_x).

$$A = (x_i, y_j), \quad (19)$$

$$A_q = (x_i, y_j, z_q), \quad (9)$$

$$A_q = A + (z_q), \quad (10)$$

где x_i, y_j – пространственные координаты, z_q – значения. Решение - искомая матрица:

$$A_x = k_q A_q, \quad (11)$$

$$A_x = k_q (A + (z_q)), \quad (12)$$

где k_q – континуализация по параметру q .

При математической обработке матрицы A_q , решение выглядит следующим образом:

$$A_m = m A_q = m (x_i, y_j, z_q) = (x_i, y_j, c_m) \quad (13)$$

$$A_x = k_m A_m, \quad (14)$$

где A_m – математически преобразованная матрица, m – математические преобразования, c_m – новые значения полученные при математическом преобразовании.

Принципиально поверхность можно отстроить по любым объектам карты в соответствии с законами и правилами построения поверхностей. Способы моделирования,

лежащие в основе метода, все допустимые, кроме специализированных приемов экспериментального моделирования:

1. Получение новых картографических объектов:

- 1.1. Качественно-количественные математические и пространственные преобразование и действия над закартированными картографическими объектами
- 1.2. Анализ результатов апробации природной среды с целью получения новых картографических объектов
- 1.3. Дистанционное зондирование с целью
- 1.4. Экспериментальное моделирование

2. Выявление качественно-количественных и пространственных связей и взаимосвязей между имеющимися и полученными картографическими объектами

Существуют определенные правила построения поверхностей. Опробование, наблюдения или снятия значений геофизических полей проводится по определенной, значимой сети. Сеть наблюдений (опробования) должна быть *кондиционной*. Смысл кондиционной сети опробования заключается в том, что при определенном масштабе, точки должны покрывать поверхность с определенным шагом. К примеру, при картировании масштаба 1 : 200 000, точки геохимического опробования должны располагаться по сети 2000 на 2000 м, т.е. расположение точек должны приближаться к углам квадратов со сторонами 2000 на 2000 м. Места на карте, где расположение точек больше значения данного приближения, считаются некондиционными. Не смотря на это поверхность по данным точкам все равно можно отстроить, но на некондиционных местах карты значения моделируемой поверхности будут менее вероятны и, с большей вероятностью будут заключать в себе неверный результат. Кроме выбора сети опробования или наблюдения, необходимо выбрать сеть построения моделируемой поверхности и метод ее интерполяции. Методов интерполяции поверхности по точкам существует множество. В картографии преимущественно применяются метод крайгинга, метод подбора расстояний значений между ближайшими соседними точками (IDW), метод сплайна.

Правила построения поверхностей лучше рассмотреть на примере. Пусть имеется фрагмент опробованной карты с пятью точками с установленными значениями (рис. 13).

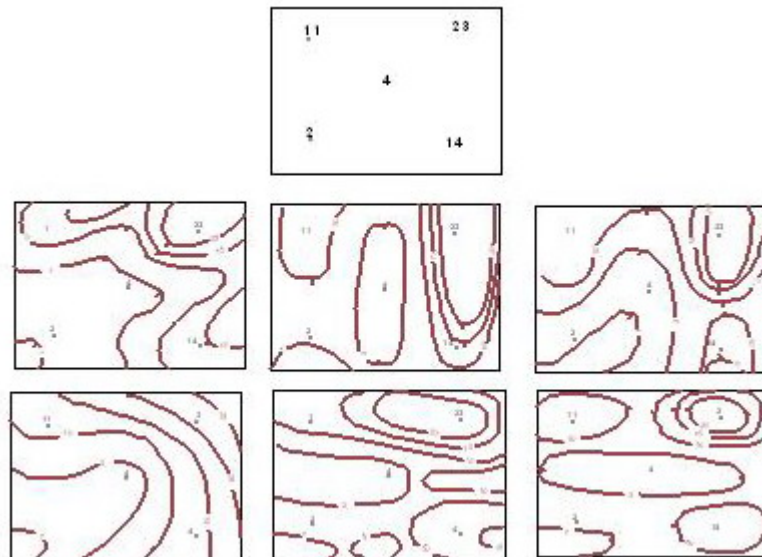


Рисунок 13. Различные варианты проведения изолиний по одним и тем же точкам и одним и тем же значениям (построение поверхностей различными методами)

Провести изолинии между ними по значениям можно по разному, часть из наиболее распространенных способов показано на рисунке. Если нет дополнительных условий (критериев) интерполяции изолиний, то определить, как должны быть они расположены, в соответствии с действительностью, является весьма затруднительным вопросом. В топографии для верного построения изолиний рельефа используется полевой абрис или память топографа. Поэтому одним из важных моментов при построении поверхности является выбор метода интерполяции поверхности. Выбор интерполяции поверхности должен соответствовать действительности или, как можно более быть приближен к действительности. Решение этой творческой задачи всегда остается за исследователем. На рисунке 14 показаны поверхности, построенные по различным методам и их вариантам. При наличии общих тенденций поверхности различаются. Причем, значения, по которым построены поверхности и шаг построения остаются без изменений. Следовательно, прежде чем строить поверхность необходимо выбрать самый подходящий метод построения, как можно более отвечающий действительным условиям. Так же необходимо определиться с выбором сети построения или шага построения, - т.е. с оптимально-минимально выбранным квадратом в котором будут учитываться значения соседних точек. На рисунке 15 приведен фрагмент той же опробованной карты с пятью точками. Фрагмент составляет квадрат 500 x 500 м. Необходимо определиться с сетью построения

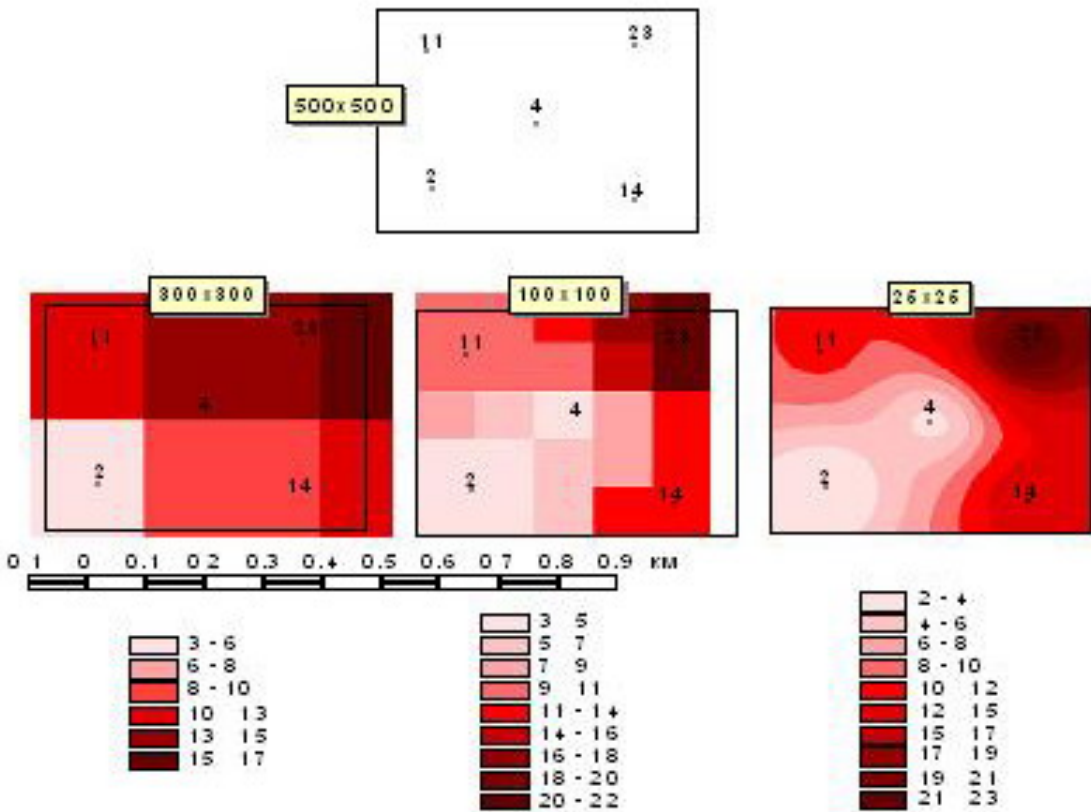
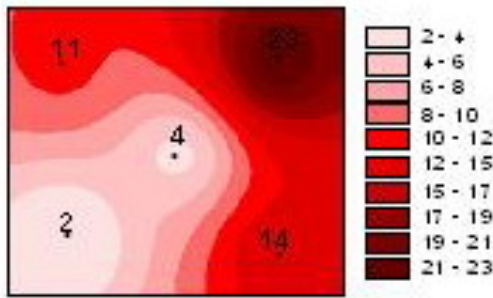
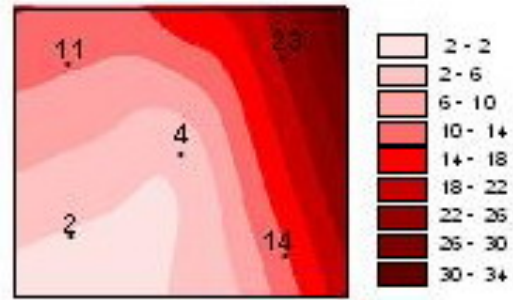


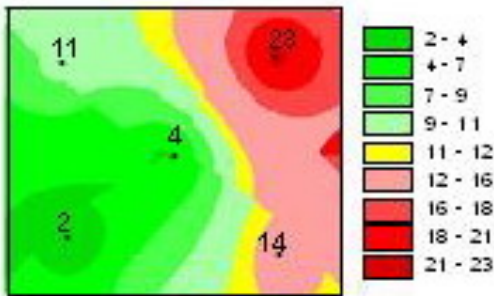
Рисунок 14. Варианты построения поверхности в зависимости от расчетной сети (ГРИД)



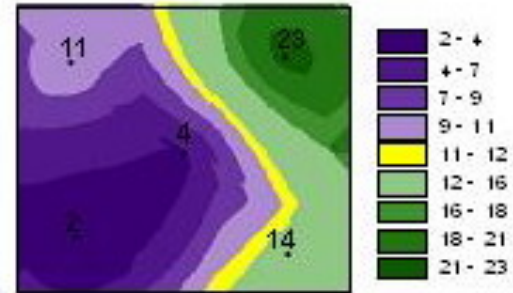
Метод подбора расстояния по значению (IDW)



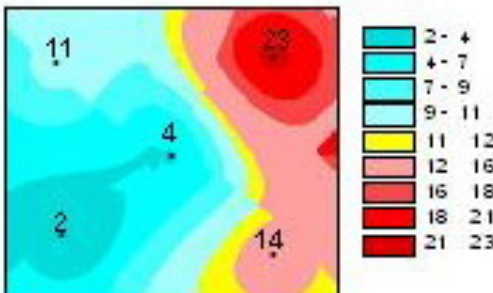
Метод сплайна регуляризации



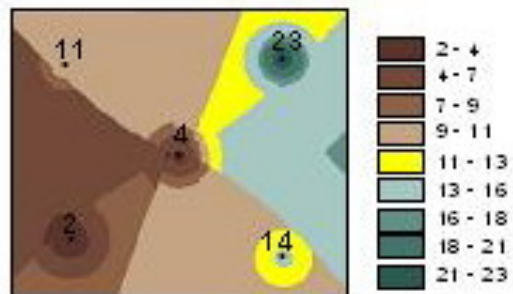
Метод экспоненциального крайгинга



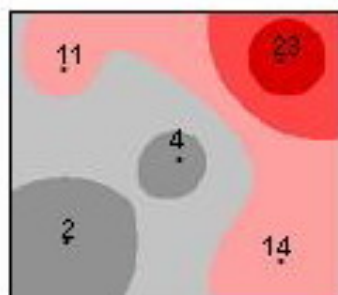
Метод линейного крайгинга



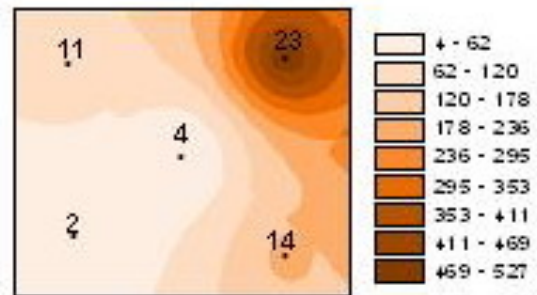
Метод сферического крайгинга



Метод преобразования Гаусса



Аномальная поверхность



Поверхность полученная в результате перемножения поверхности IDW и поверхности экспоненциального крайгинга

Рисунок 15. Варианты построения поверхности от метода

поверхности по известным значениям. При сети построения 300 x 300 м и сжимании ее до 100 x 100 м поверхности получаются не корректными. При сети построения 25 x 25 м поверхность корректна. Причем метод построения во всех случаях один и тот же (IDW). Расстояние между точками опробования составляет 300 – 200 м, но при данной сети построения поверхность выходит не корректной, т.е., для корректной поверхности сеть построения должна быть намного меньше сети опробования. Значение сети построения поверхности переключается с понятием кондиционной опробования (наблюдения) В геологии кондиции опробования определяются инструктивно, но поверхность может быть отстроена, как по кондиционной сети опробования, так и по не кондиционной. В этом случае необходимо учитывать места, некондиции. На рисунке приведен фрагмент карты опробования масштаба 1 : 200 000, кондиция опробования, которой составляет 2000 x 2000 м. Поля опробования соответствующие условию кондиции опробования на карте показаны желтым цветом с черным контуром. Рядом, на этом же рисунке, приводится поверхность распределения марганца (по точкам опробования) по сети построения 2000 x 2000 м методом IDW. Положительно аномальные значения выделены красным цветом, отрицательно аномальные - синим, фон – желтым. Поверхность является не корректной по кондиции за черным контуром и по выбранной сети построения в некоторых местах, наблюдаются некорректные результаты – аномальные значения поверхности в нижнем правом углу карты. Чтобы избежать некорректностей в поверхности необходимо определиться с сетью. Построения относительно кондиции или относительно сети опробования (наблюдения). На рисунке 17 приводится та же карта, с той же сетью опробования, по которой построены поверхности по одному методу, но по различной сети построения поверхности: от 1500 x 1500 до 50 x 50 м. Корректная поверхность, получается по сети построения 100 x 100 и 50 x 50 м. Таким образом, сеть построения корректной поверхности должна быть значительно меньше сети опробования (или сети кондиции):

$$s < 0,5 c , \quad (15)$$

где s – сеть построения поверхности, c – сеть опробования.

Итак, основные правила построения корректной поверхности:

1. Выбор метода построения
2. Определение сети построения поверхности относительно сети точек наблюдений.
3. Соответствие сети наблюдений кондиции наблюдений.

Процесс моделирования - построения и анализ поверхности на построении самой поверхности может и не заканчиваться. Как видно в примере (рис. 14) по одним и тем же значениям можно получить различные поверхности. После различных математических преобразований получается аномальная поверхность, на которой выделены участки положительных и отрицательных аномалий. Последняя поверхность на рисунке 14 получена путем перемножения поверхности IDW на поверхность экспоненциального крайгинка. Получена, совершенна иная поверхность, на которой акцентируется поле с максимальными значениями, а поля с минимальными сглаживаются. Допускаются любые возможные действия, над множеством поверхностей, с получением результирующей. Здесь основным творческим моментом для исследователя остается правильная постановка задачи и пути ее решения.

Для геологии, геологического картирования, данный метод очень результативен при построении структурных поверхностей. Поверхностей стратиграфических подразделений. Так геологическая карта, построенная не на приведенной плоскости, а на поверхности соответствующей предплейстоценовому уровню очень показательна (рис. 18). Это уже псевдо трехмерная модель геологического строения.

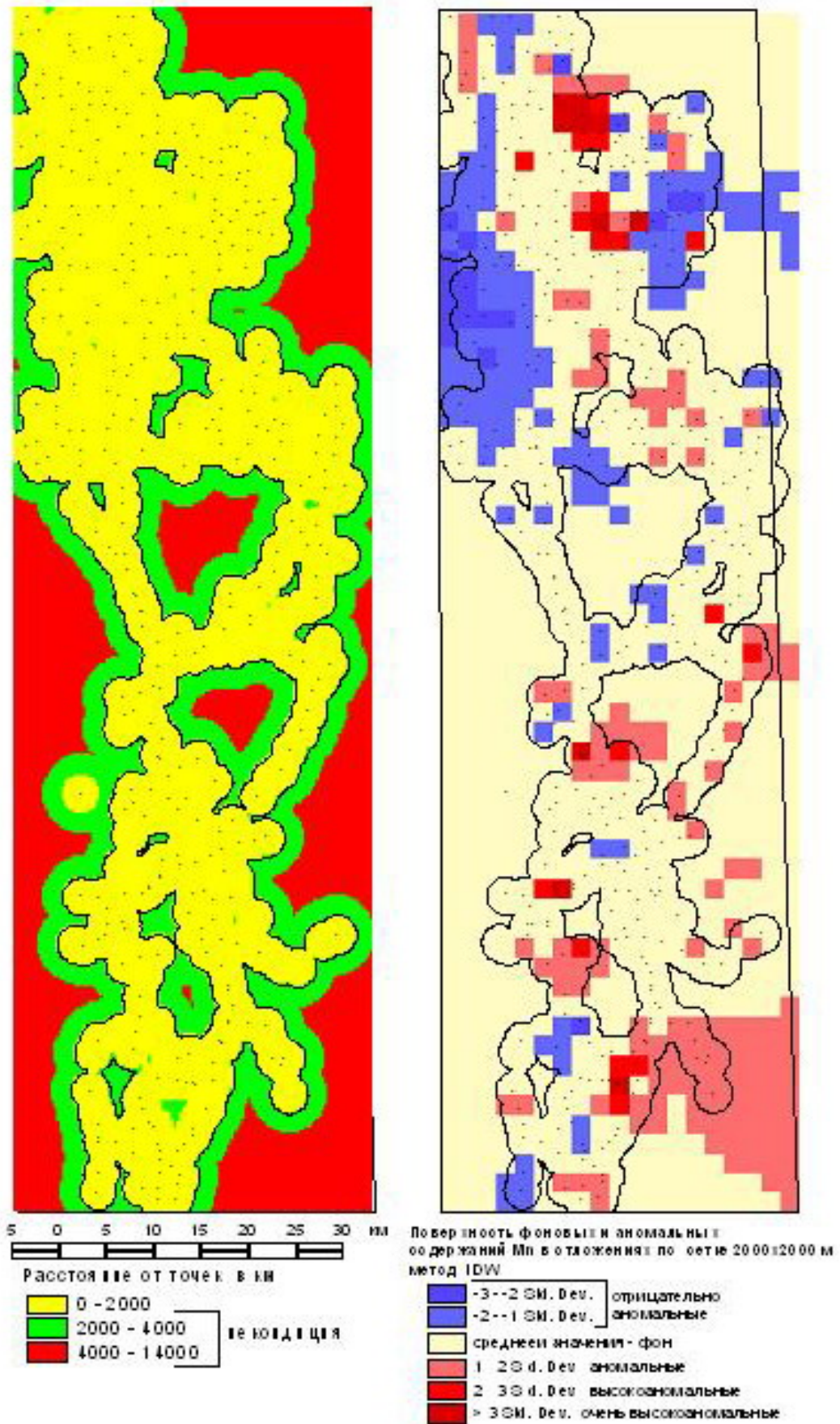














Рисунок 16. Кондиция и построение

Приемы метода сводятся к пошаговым действиям:

-   Выбор объектов построения поверхности.
-   Математическая обработка данных объектов (если необходимо).
-   Выбор метода построения поверхности.
-   Определение сети построения поверхности.
-   Осуществление действий над поверхностью или поверхностями (если необходимо).
-   Анализ результатов.

1.5.2.3. Объемное (глубинное) моделирование

Объемное моделирование очень важно для представления модели какого-либо месторождения, а так же представление традиционной геологической карты с развитием геологических подразделений и тектонических нарушений на глубину. Такое моделирование открывает широкие возможности, как для научных познаний, исследований, так и для практической геологии и ведении мониторинга определенных территорий и освоения месторождения. Безусловно, за объемными динамическими (квази-динамическими) моделями стоит будущее геолого-картографического моделирования.

Принцип метода объемного моделирование, при наличии представительной базы данных, не сложен и сводится к набору поверхностей, соответственно распределенных их глубинам залегания. Поверхности фиксируют кровлю и подошву геологического слоя определенного геологического подразделения. Для заполнения пространства мощности слоя, поверхности распределяются на глубину с интервалом равной бесконечно-малой величине, которая определяется погрешностью картирования (определенным масштабом). Этот принцип хорошо подходит при горизонтальных, суб горизонтальных, отчасти моноклинальных залеганиях пород. Для территорий, где имеет место быть складчатое залегание пород, принцип усложняется либо дополнительными сложными алгоритмами, либо очень емкой базой данной, учитывающей складчатое залегание.

Математический смысл построения объемной модели следующий.

Пусть имеется набор поверхностей n поверхностей: $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$

$$\begin{aligned} A_1 &= (x_i, y_i, z_i), \\ A_2 &= (x_j, y_j, z_j), \\ &\dots \\ &\dots \\ &\dots \\ A_n &= (x_n, y_n, z_n), \end{aligned} \quad (16)$$

где x_i, y_j – пространственные координаты, z_n – значения, по которым построены поверхности: отметки рельефа и подошв слоев (первая – рельеф, вторая четвертичные отложения и т.д.). Данная система матриц уже является объемной моделью, отражающее пространственное залегание геологических слоев. Расстояние Z :

$$Z = z_i - z_j \quad (11)$$

является мощностью четвертичных отложений, где z_i – отметки рельефа, z_j – отметки подошвы плейстоценовых отложений. Множество поверхностей, заключенных между отметками рельефа и подошвы плейстоценовых отложений с интервалом от z_i до z_j , при $Z \rightarrow -\infty$ дают объемное представление и форму залегания четвертичных отложений и т.д.

На рисунке 17 приводится пример трехмерной поверхности в виде набора кровлей и подошв слоев геологических подразделений. Сверху дана поверхность рельефа, вторая

сверху – поверхность плейстоценовых отложений, третья – подошва пород верхней перми, четвертая – нижней и т. д. В таблице 2 приводится та же модель в виде матрицы с отметками подошв геологических подразделений. На рисунке 18 – ЦМР по пробуренным скважинам. Удобство трехмерных моделей неоспоримы. Их можно вращать, анализировать в любой проекции и экспозиции, снимать не нужные слои (рис. 19). Цветом отображается информация – глубины залегания.

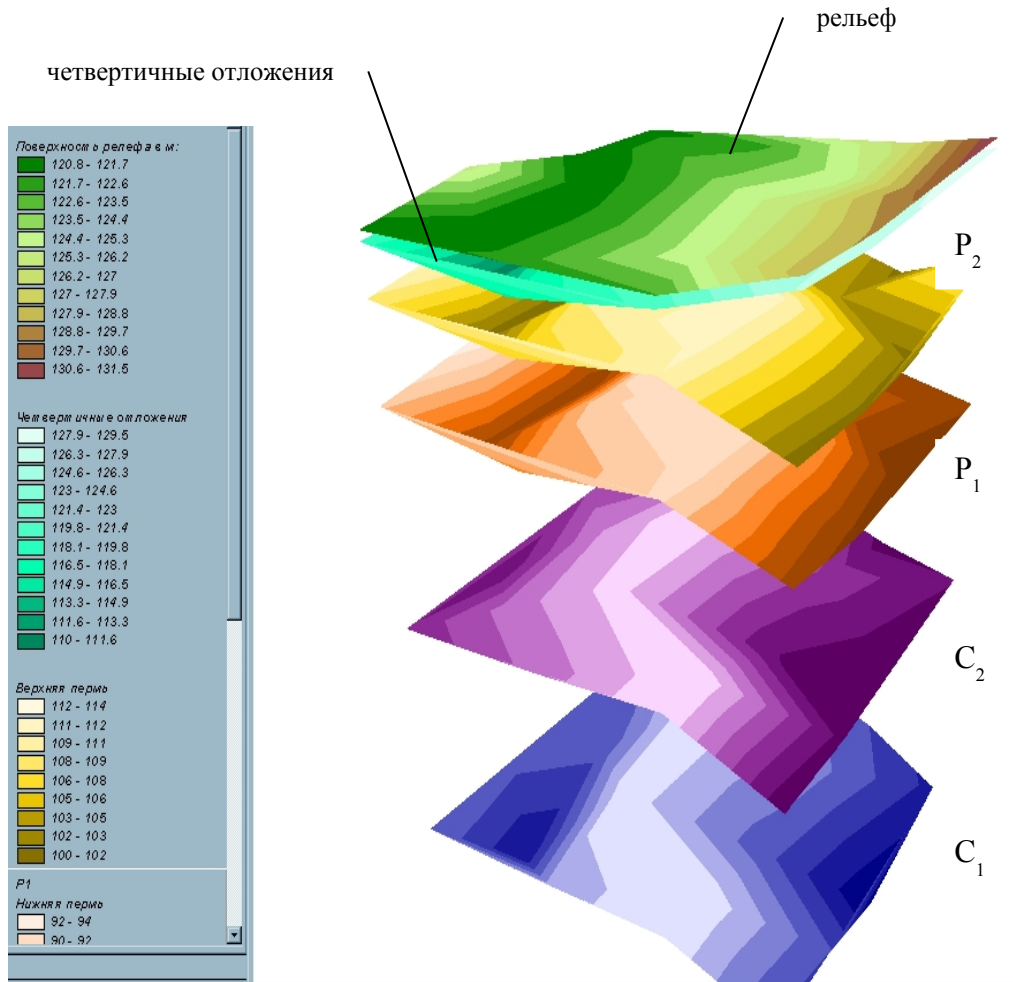


Рисунок 17. Трехмерная (глубинная) геологическая модель

Таблица 2. Матрица трехмерной модели по пробуренным скважинам

Скв	X	Y	Z	Q	P ₂	P ₁	C ₂	C ₁
1	10275451,23	6684512,25	120,80	118,80	108,80	88,80	42,00	-8,00
2	10277673,73	6684459,33	125,60	123,60	113,60	93,60	40,00	-10,00
3	10280372,49	6684459,33	120,90	118,90	108,90	88,90	44,00	-11,00
4	10282409,78	6684379,96	121,10	119,10	109,10	89,10	45,00	-12,00
5	10276403,73	6683215,79	120,80	110,80	100,80	80,80	46,00	-17,00
6	10278890,82	6683242,25	121,00	110,00	100,00	80,00	47,00	-10,00
7	10281404,36	6683215,79	122,30	115,30	105,30	85,30	45,00	-5,00
8	10275451,23	6681760,58	122,00	116,00	106,00	86,00	46,00	-4,00
9	10277514,98	6681734,12	122,00	120,00	110,00	90,00	50,00	0,00
10	10280002,07	6681760,58	122,90	120,90	110,90	90,90	51,00	1,00
11	10282171,66	6681707,66	122,50	120,50	110,50	90,50	51,00	1,00
12	10275398,31	6679352,86	122,50	120,50	110,50	90,50	51,00	1,00
13	10276324,35	6679352,86	125,00	123,00	111,00	91,00	51,00	1,00

Скв	X	Y	Z	Q	P ₂	P ₁	C ₂	C ₁
14	10278388,11	6679299,95	125,90	123,90	110,90	90,90	40,00	-10,00
15	10280398,94	6679352,86	125,00	123,00	103,00	83,00	43,00	-7,00
16	10282383,32	6679194,11	126,70	124,70	101,00	80,00	39,00	-11,00
17	10275742,27	6677553,69	128,50	126,50	100,50	80,50	38,00	-12,00
18	10277382,69	6677474,32	129,00	127,00	101,00	79,00	39,00	-11,00
19	10279155,40	6677580,15	130,00	128,00	100,90	78,00	38,00	-20,00
20	10281880,61	6677580,15	131,50	129,50	109,50	80,00	40,00	-15,00

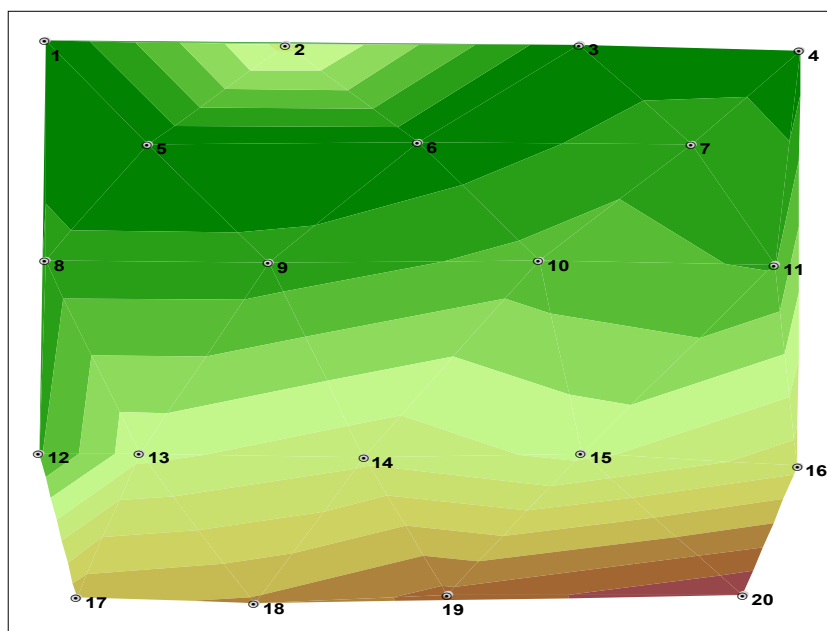


Рисунок 18. Цифровая модель рельефа по пробуренным скважинам (первая сверху поверхность объемной модели)

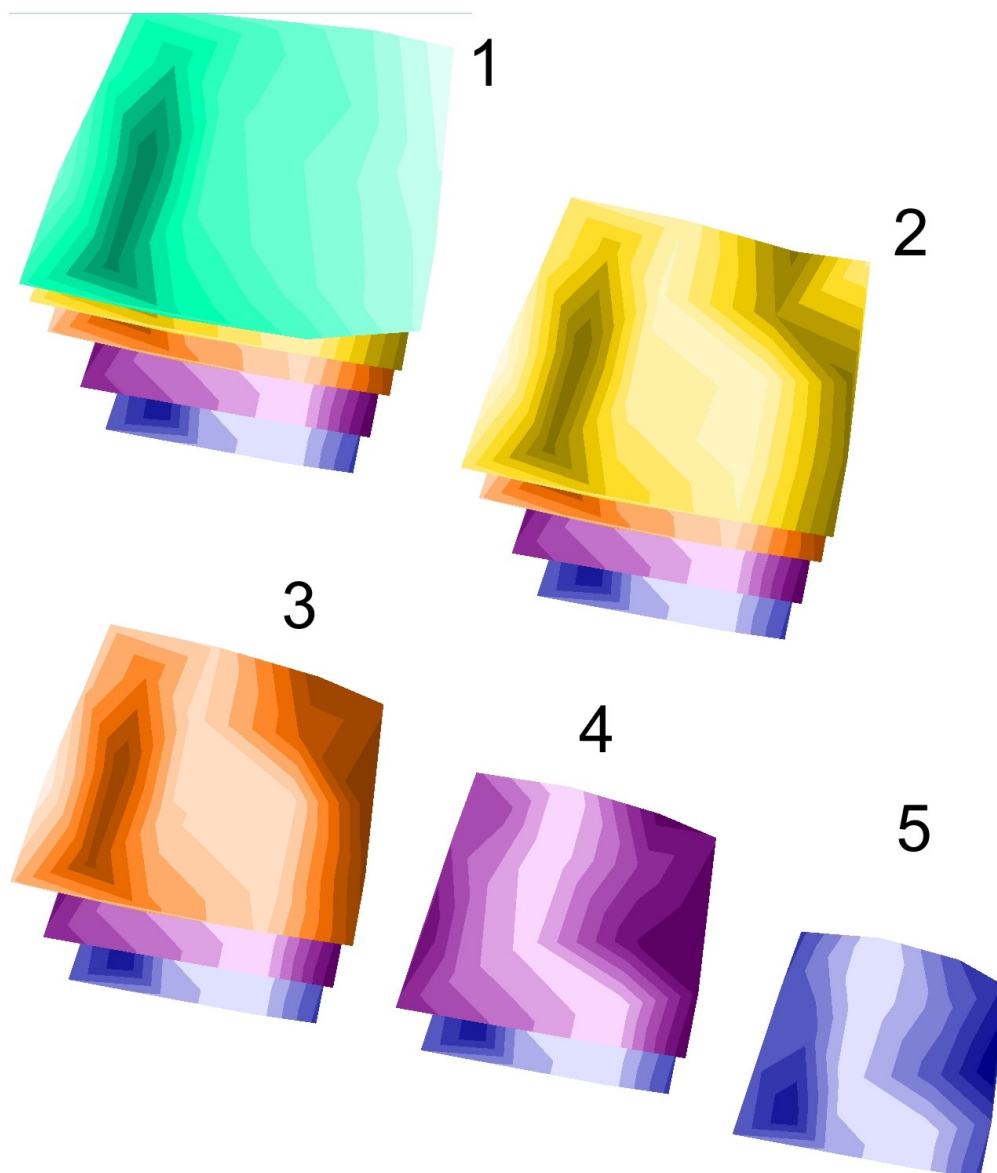


Рисунок 19. Разложение на поверхности (снятие верхних поверхностей)

Подошвы залегания: 1 – четвертичных отложений, 2 – верхнепермских пород, 3 – нижнепермских, 4 – среднекаменноугольных, 5 – нижекаменноугольных.

Использование объемных моделей очень удобно в практической геологии, при разработке месторождения. При оперативно, получаемых данных по отработке слоев ведется динамический мониторинг с изменением форм модели.

В решении вопросов структурной геологии объемные модели играют первостепенную роль.

1.5.3. ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ

Дистанционное зондирование (ДЗ) начало развиваться параллельно с развитием авиации и освоения околоземного космического пространства. Аэрофотоснимки в геологии использовались преимущественно для установления геологических границ, тектонических нарушений, структур различного порядка, выделения природно-ландшафтных комплексов (ПЛК) и иных геолого-картографических объектов при методических операциях под общим названием дешифрирование АФС. В связи с развитием космической техники и технологий космической съемки поверхности Земли в различных диапазонах видимого и невидимого спектров излучений (многозональная съемка), проведения комплексных аэрогеофизических методов, радиолокационных и иных сканирующих методов технология дистанционного зондирования получила мощный импульс развития.

Изначально фотографирование поверхности Земли осуществлялось на черно-белую фото пленку при аэрофотосъемке и в виде транслирующегося черно-белого телевизионного изображения при космической съемке. Дешифрирование проводилось по фототону, геометрии рисунка и косвенным данным, запечатлевшихся на снимках. Затем стала применяться цветная и спектральная съемки. Цвет стал дополнительным признаком объектов. Основы многозональной съемки были заложены еще в 40-е годы В.А. Фасом и Е.А. Криновым. Составленный ими каталог характеристик отражающих объектов послужил основой для компьютерных БД спектральных характеристик природных объектов. В последнее время он значительно расширился и пополнился за счет исследований проводимых США (программа NASA), отечественными исследованиями с орбитальных станций и космических спутников. Был составлен базовый диапазон для съемки различной направленности (табл. 3).

Таблица 3. Некоторый диапазон спектра для съемки различной направленности

Диапазон электромагнитного излучения, мкм	Системы объектов
0,38 – 0,5	шельф
0,5 – 0,65	почва, растительность
0,65 – 0,76	рельеф
0,76 – 0,84	геологические структуры

При геологическом картировании, стало возможным, применять радиолокационную съемку. Радиолокационная съемка подразделяется на активную (радарную) и пассивную (радиотепловую). Радарные радиолокационные снимки дают детальное изображение, как рельефа, так и геологических структур и тел, т.к. передают характеристики подстилающей поверхности: плотность, пористость, электрические свойства, магнитную восприимчивость. Принципиально с помощью радиолокационной съемки в комплексе с зональной съемкой можно отстроить геологическую карту масштаба, соответствующему разрешению снимков или масштабу съемки. Радиотепловая съемка позволяет устанавливать объекты, связанные с поверхностными и подземными водами независимо от состояния атмосферы. По детальной радиотепловой съемке в комплексе с зональной съемкой инфракрасного излучения стало возможным строить гидрогеологические карты с запасами подземных вод, масштабов, соответствующих разрешению снимков и масштабов съемки.

С 60- 80-х годов начала применяться спектрометрическая съемка, как с самолетов, так и с космических спутников. Методика спектрометрической съемки заключается в измерении коэффициентов яркостей природных объектов по сравнению с эталонами. Была проведена экспериментальная спектрометрическая съемка (пилотируемые космические корабли «Союз» и орбитальная станция «Салют») различных территорий Земли. Эксперименты показали, что для надежного определения объекта необходимо

проведения съемки в узком диапазоне спектра, что бы происходило выделение его на окружающем фоне.

Начиная с 1958 г. были проведены глобальные магнитные съемки Земли (спутники Космос-49, Космос-321). Данные съемки дали региональные магнитные аномалии с возможными источниками их в литосфере. С этого же времени стали проводиться гравиметрические космические съемки.

Сейчас действующие спутники, оборудованные соответствующей аппаратурой, проводят комплексную – многозональную, много спектральную съемки в интервалах диапазонов: видимого спектра, инфракрасного, инфракрасно-теплого и в радиодиапазонах. Необходимо отметить, что масштабы снимков заменяются понятием разрешение снимков, т.е. количество пикселей растрового изображения на единицу площади. К примеру разрешение 10 м может соответствовать условиям, при котором хорошо различимы объекты размером до 10 м и снимок соответствует примерному масштабу 1 : 10000.

В мире скопились большие объемы снимков различных разрешений, спектров и перспектив съемок американских, российских, французских, индийских и иных спутников. Они формируют архивы фотоснимков по годам. Создаются все предпосылки создания глобальной БД космических снимков Земли. К примеру, замечательной моделью Земли можно пользоваться через программное обеспечение Google Earth (www.google.com) (рис. 19). Модель Земли собрана из космических снимков различного разрешения, по Северной Америке до 10 м, по остальному миру до 25 - 100 м.

При дистанционном зондировании устанавливаются объекты, которые невозможно определить при наземной съемке – это, прежде всего линеаменты и суперлинеаменты, кольцевые структуры и иные структуры, не определяемые при наземной съемке. При исследованиях из космоса были установлены, теперь уже ставшими классическими, суперлинеаменты, такой, как Урало-Оманский, прослеживающийся от Персидского залива до Северного-Ледовитого океана. Он проходит восточнее Урала и через Аральское Море. В Альпийском поясе он служит границей между геосегментами. Данный суперлинеамент обусловлен глубинным строением Земли и был заложен в древни эпохи, возможно, он является древней краевой зоной литосферных плит и непосредственно связан с формированием Урала. Кроме этих объектов, определяемых с космической орбиты, могут устанавливаться иные объекты, обусловленные физическими свойствами литосферы и глубинным строением Земли. Так, при инфракрасной съемке обнаруживаются глубинные объекты, не отраженные на поверхности, при гелиевой съемке устанавливаются гелиевые аномалии, указывающие на сейсмическую активность и нефтяные месторождения. Сейчас возможно проведение комплексной космической геофизической съемки со спектральной съемкой, в результате которой выделяются совершенно новые объекты – поля комплексных аномалий, природа которых может быть очень различна, от естественной (потенциальные месторождения полезных ископаемых), до техногенной. Таким образом, дистанционное зондирование дает нам, как наличие натуральных объектов, так и совершенно новых объектов, которые не могут быть установлены иным способом. С самого начала исследования Земли из космоса стали устанавливаться специфические структуры, которые не определялись при полевом картировании. Образование этих структур не однозначно, часто природа их трудно определима, иногда они понятны - астроблемы, древние вулканы. В иных случаях природа их может быть обусловлена комплексом явлений и процессов, в том числе и глубинного характера. Данным структурам, установленным при дистанционном зондировании Земли из космоса, можно дать термин, – *структуры ДЗ*.

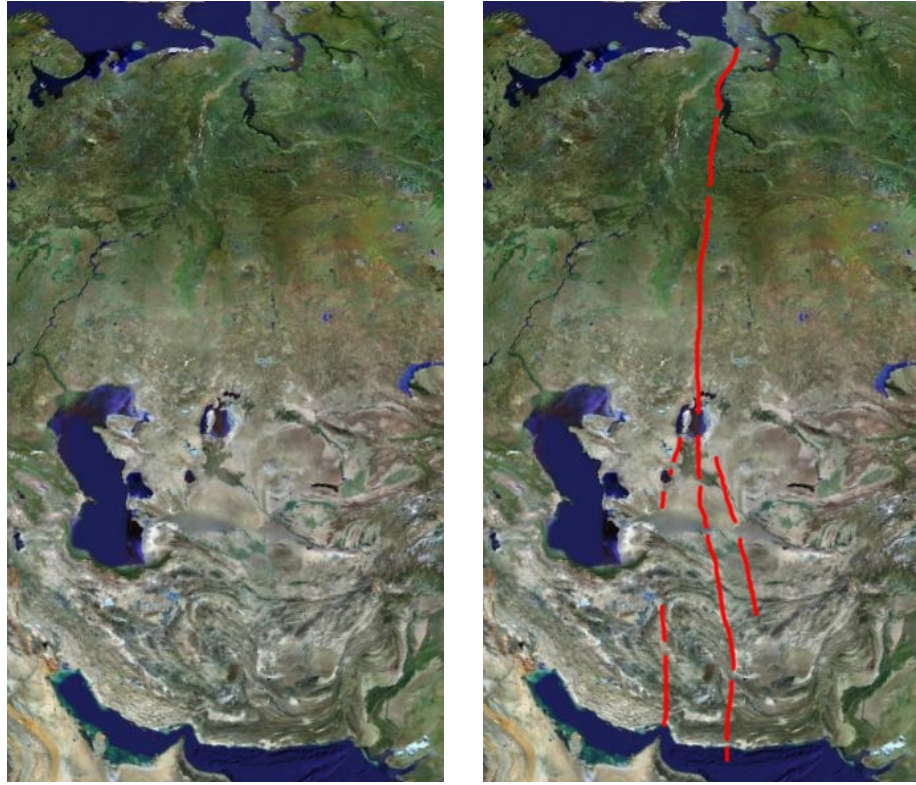


Рисунок 20. Урало-Оманский линеамент

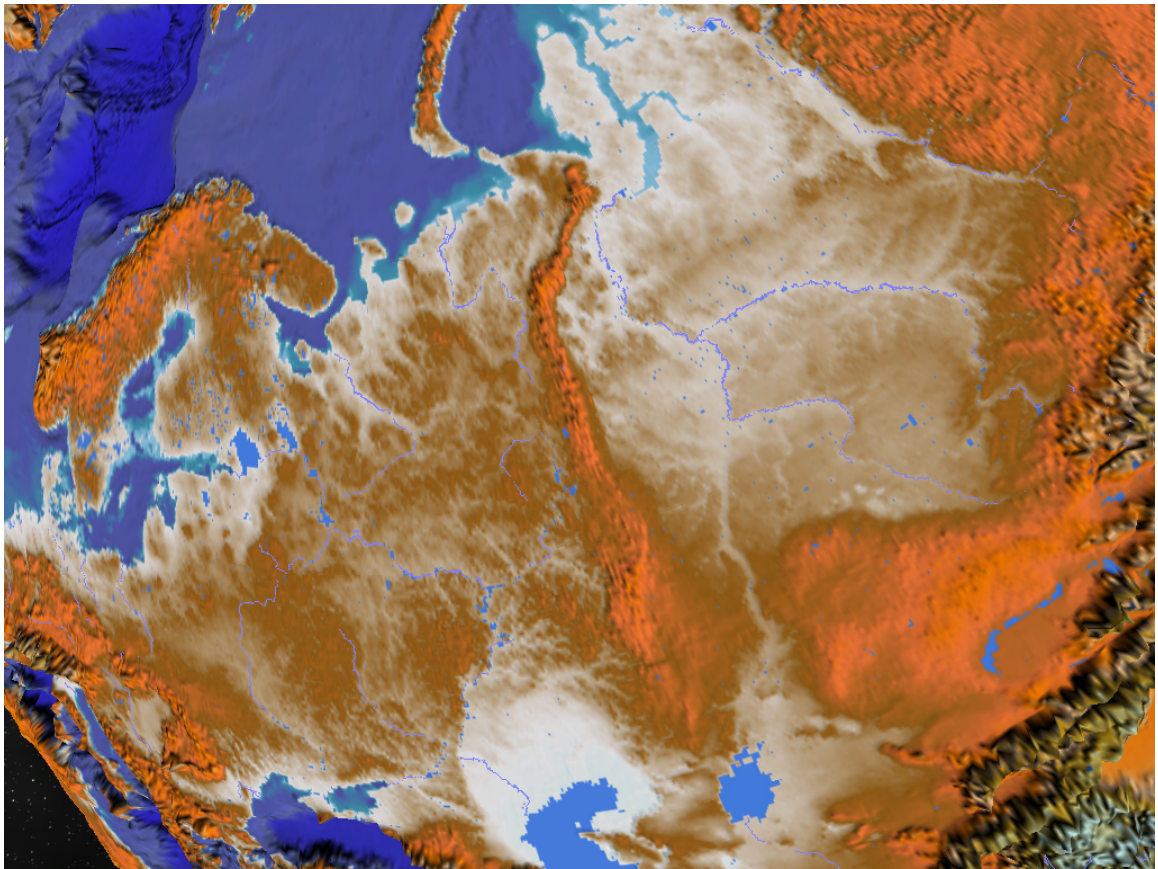


Рисунок 21. Модель фрагмента Земли с хорошо видимым Урало-Оманским линеаментом

При дистанционном зондировании устанавливаются, редактируются и корректируются натуральные объекты, которые могут быть закартированы традиционным способом и совершенно иные объекты, которые определяются только при проведении комплексных методов дистанционного зондирования (табл. 4). С объектами ДЗ, так же, как и с обычными, допустимы любые разрешенные действия и операции. Анализ результатов и установление связей между ними. Кроме этого, специфическая обработка космических снимков дает новые объекты. Это объекты, которые получаются в результате обработки данных ДЗ, главным образом дифференцированной обработки по цветовым каналам (спектрам).

Таблица 4. Объекты ДЗ

Объекты, картируемые при наземной съемке и с помощью ДЗ	Объекты, устанавливаемые при ДЗ (объекты ДЗ)	Объекты устанавливаемые по результатам обработки данных ДЗ
Геологические структуры и тела	Линеаменты	Объекты обработки ДЗ
Геологические границы	Структуры ДЗ	
Тектонические нарушения	Поля ДЗ	

1.5.3.1. Моделирование по АФС и КС

Основу моделирования по АФС и КС составляют действие над геолого-картографическими объектами полученных в результате дистанционного зондирования и обработки самих снимков. В результате обработки снимков создаются принципиально новые картографические объекты.

В качестве иллюстрации моделирования по КС взят композиционный космический снимок 2004 г. спутника Landsat разрешения 100 м части территории Красновишерского района (рис. 22). Первичная съемка – многозональная, снимок приведен к видимому спектру.

На снимке визуально распознается г. Красновишерск, автодорога Красновишерск-Волынка, р. Вишера с притоками. В части геологических характеристик – хорошо читается разлом в виде диагональной линии по центру снимка, горная и равнинная части территорий. Из техногенных объектов, кроме зон урбанизации отчетливо видны дражные полигоны по рр. Большой Колчим, Чурочная; территории разработок Рассольниковской депрессии, Ишковского карьера и Волынки; места вырубок леса. Снимок можно дешифрировать с целью получения геологических границ и тел, но на территорию уже имеется геологическая карта.

Снимок подвергается цветовой обработке (рис. 23 а) - выделяется красный спектр цвета по условным значениям. Далее классифицируется по правилу трех сигм, где среднее плюс сигма, два и три сигма – положительно аномальные значения цветового диапазона (красный цвет на рисунке 23 б), и соответствующе минус сигма, два и три сигма – отрицательно аномальные значения цветового диапазона (синий цвет на рисунке 23 б). На преобразованном снимке (рис.23 б), относительно средних значений красного спектра, выделяются поверхности красного и синего цветов. К красному цвету (положительно аномальным значениям красного спектра) относятся: геологические объекты, техногенные объекты и зоны урбанизации. К синему цвету (отрицательно аномальные значения красного спектра), юго-западный угол, - территория платформы и некоторые части зоны складчатости Урала. Синий цвет (отрицательно аномальные значения красного спектра) так же характерен для долин рек и склонов сопряженных с долинами. Необходимо отметить, что по снимку красного спектра выделяются аномалии (рис. 23 а).

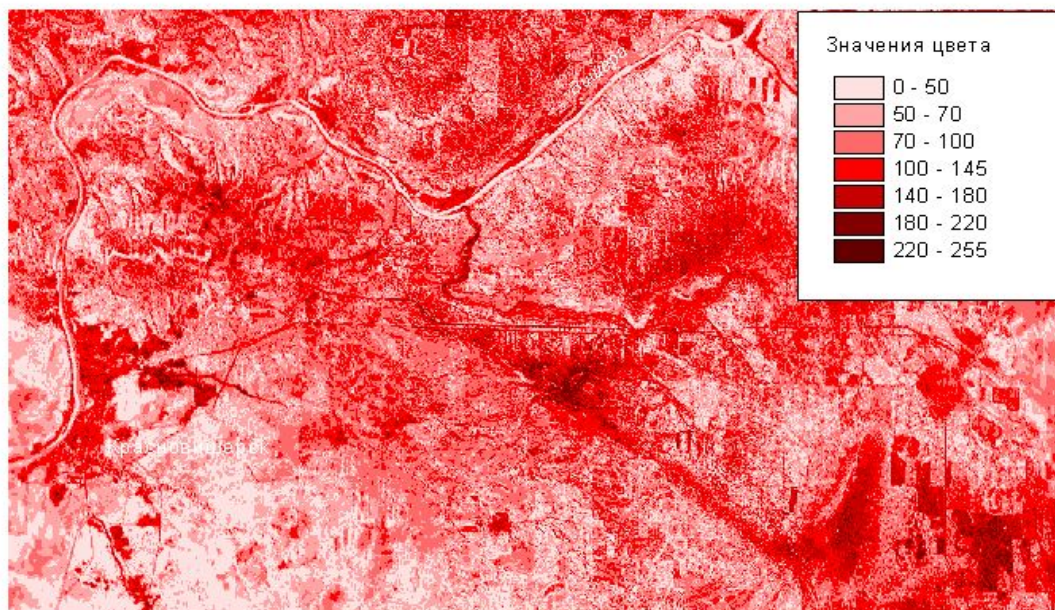


Рисунок 22. Космический снимок части территории Красновишерского района

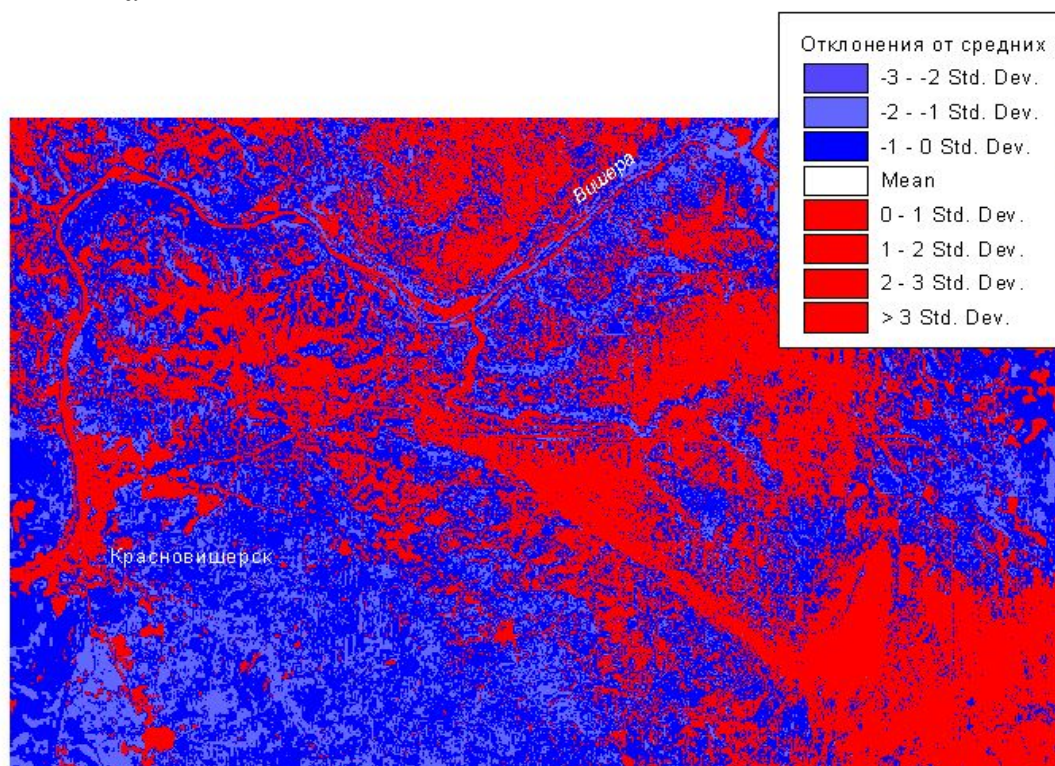
По первичному снимку и подвергнутому цветовой обработке можно уверенно отстроить тектонический разлом, очень хорошо идентифицируемый и границу основных геологических структур, соответствующей разделу территории платформы с горизонтальным залеганием пород и складчатой зоны Урала. Это процесс дешифрирование, на геологической карте данные объекты закартированы (рис. 24). Пример демонстрирует принцип дешифрирования, по первичному снимку и преобразованному.

Задачей моделирования является выделение структур, которые не могут быть закартированы при обычных геологосъемочных работах. Для этих целей, цветовой спектр преобразованного снимка диапазона красного цвета, разделяется не в произвольной форме, а по квартилям в соответствии со средним значением. Раскраску для удобства восприятия дадим в зеленом цвете (рис. 25). В восточной половине снимка, после этого преобразования, стала отчетливо выделяться кольцевая структура. Видно, что она срезана тектоническим разломом, следовательно, можно предположить, что возраст ее древнее возраста разлома. Кольцевая структура окружена зонами обтекания. На снимке они выделены более тонкими синими линиями. Кроме характерной кольцевой структуры выделяются структуры, соответствующие повышенным значениям квартилей цветового диапазона. На снимке они выделены фиолетовым контуром.

Далее проводится анализ. На снимок помещаются объектов алмазоносности (рис. 26) – россыпей и мест концентраций алмазов, устанавливается пространственная связь между



а



б

Рисунок 23. Космический снимок части территории Красновишерского района после цветовой обработки

а) по красному спектру с условной градацией, б) разделенный, относительно среднего значения красного спектра

объектами алмазонасности и кольцевой структурой. Объекты алмазонасности располагаются по контуру кольцевой структуры, как бы окаймляют ее. С севера: россыпь р. Чурочной. С северо-востока и востока: Рассольнинская депрессия, Ишковский карьер, Вогульская депрессия, Волынка. С запада: россыпь р. Большой Колчим, которая берет начала во внутренней области структуры. Выделенная структура переносится на геологическую карту. Структура переносится на геологическую карту (рис. 26). Во внутреннюю область структуры попадают древние докембрийские породы, отчасти породы ордовика, силура нижнего девона. В поле структуры находятся выходы красновишерского пикрит-эссекситового магматического комплекса представленного эссекситами, субщелочными долеритами и пикродолеритами.

Таким образом, по дифференциально преобразованному снимку определенного цветового спектра выделены принципиально новые геолого-картографические объекты.

Это хорошая иллюстрация принципа моделирования данного метода.

Конечно, поставленные задачи могут быть иными и совершенно не похожими на данную, но принцип остается и сводится к основным действиям:

1. Дешифрирование (если необходимо).
2. Преобразование снимка.
3. Обработка результатов преобразования.
4. Анализ результатов.

Необходимо отметить, что сейчас «сырые» первичные космические снимки представляют собой набор, как минимум трех снимков разных диапазонов спектра. Поэтому для работы может браться составляющая снимка в диапазонах наиболее подходящих для геологического дешифрирования, или они преобразуются «сливаются» по определенным правилам в один снимок с широким или узким диапазоном, опять же исходя из поставленных задач.

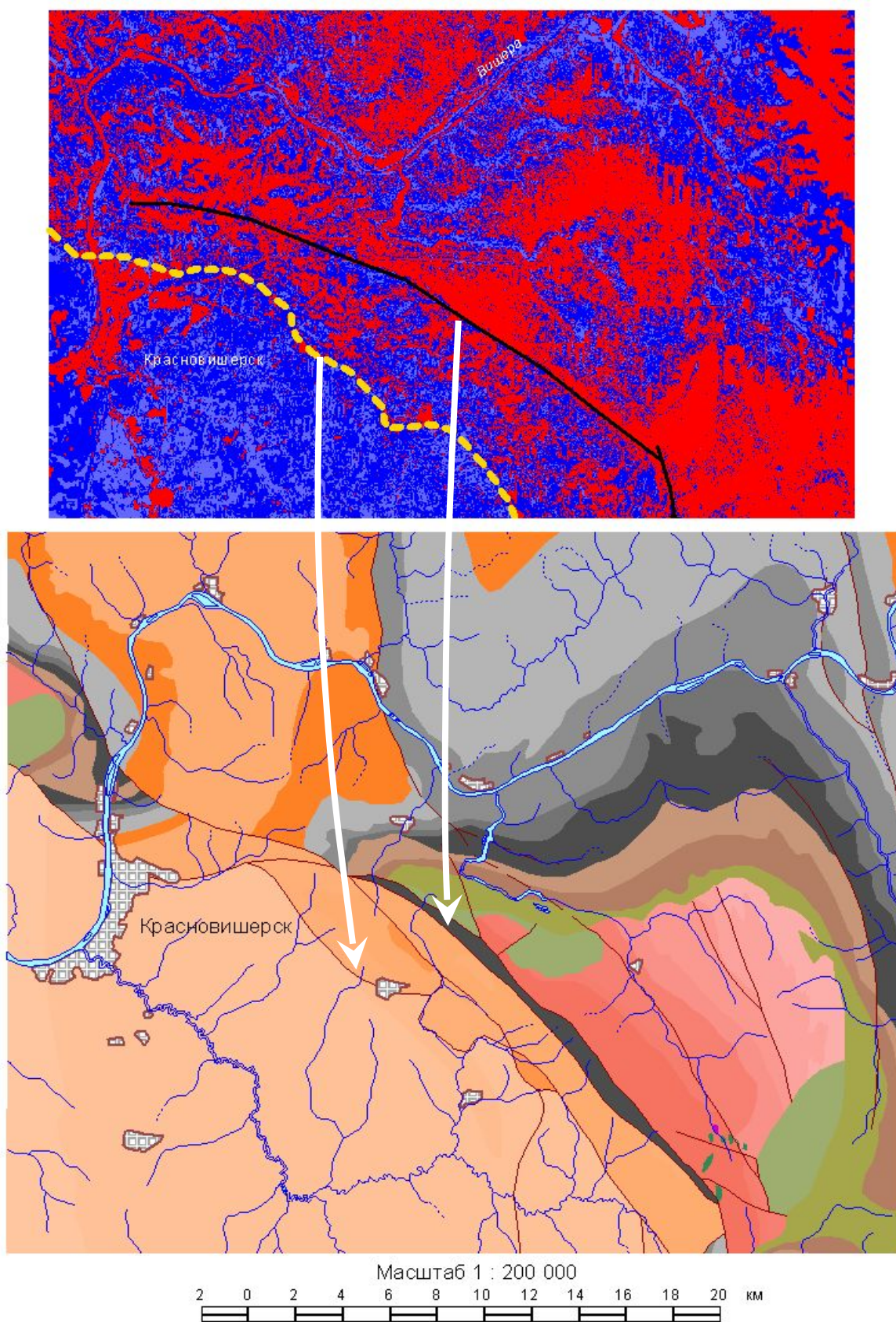


Рисунок 24. Выделение по обработанному снимку тектонического нарушения и контура геологической структуры

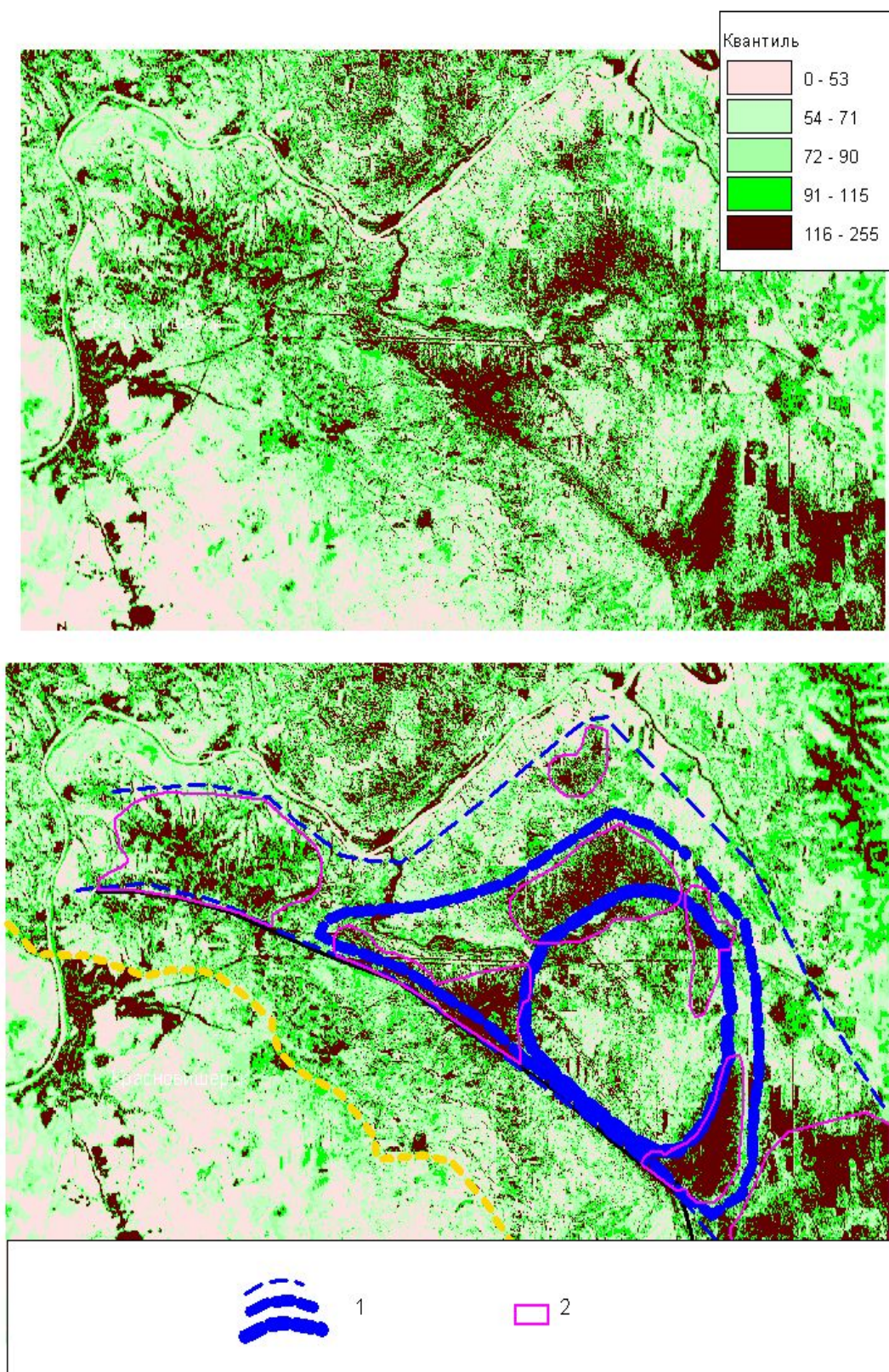


Рисунок 25. Преобразованный снимок с выделенными структурами
1 – кольцевая структура и структуры ее обтекания, 2 – структуры повышенного спектра

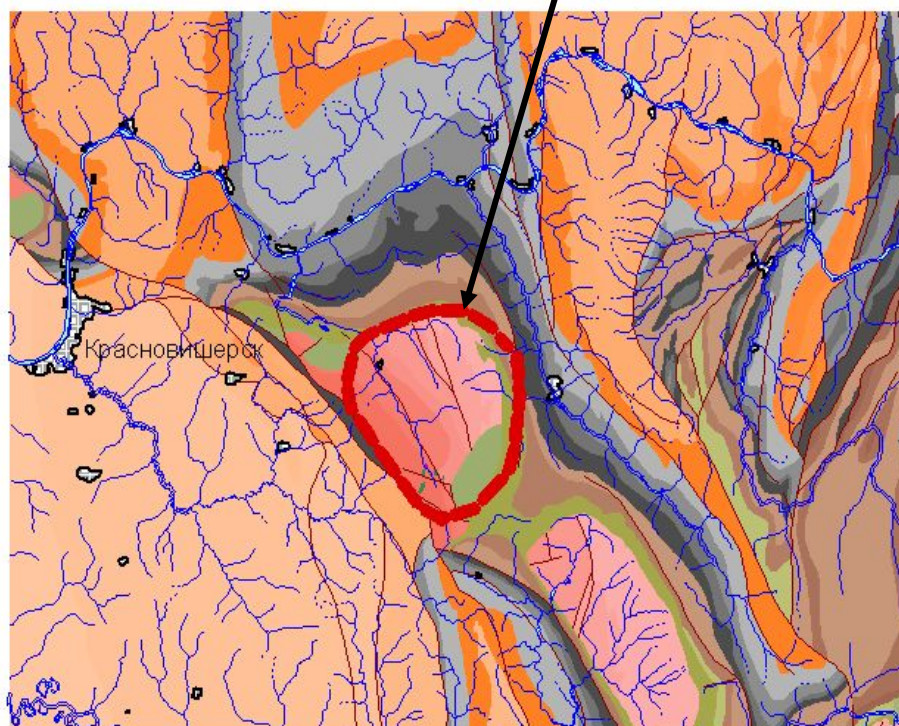
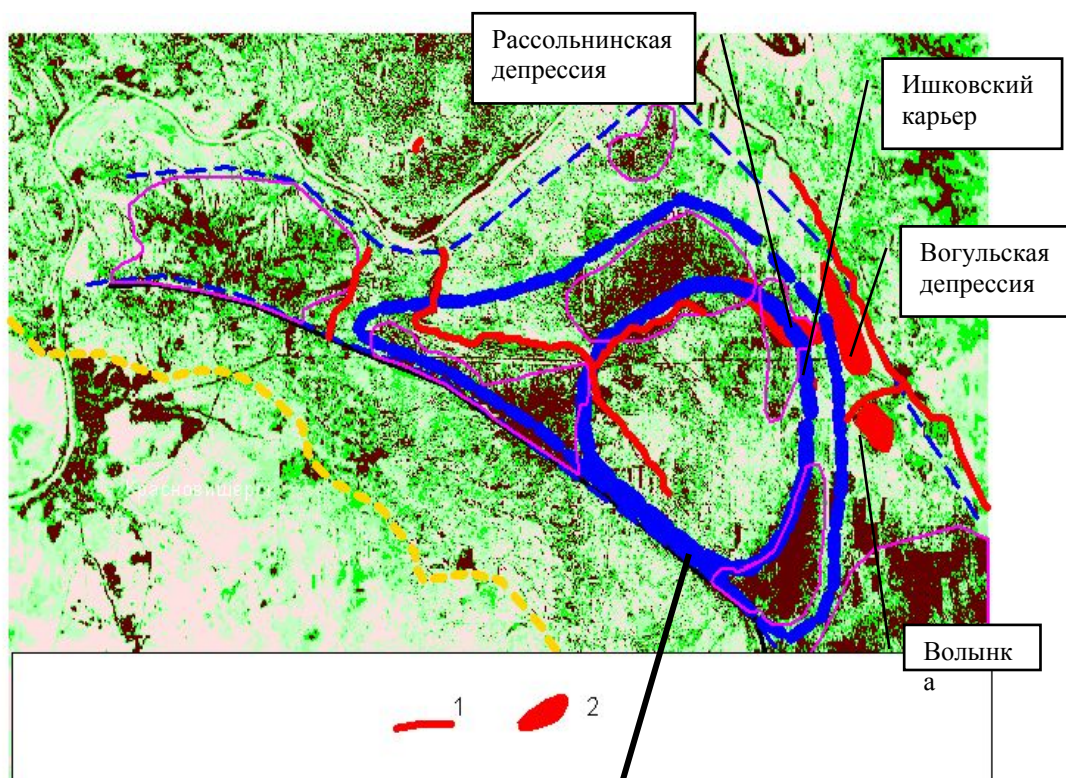


Рисунок 26. Анализ результатов

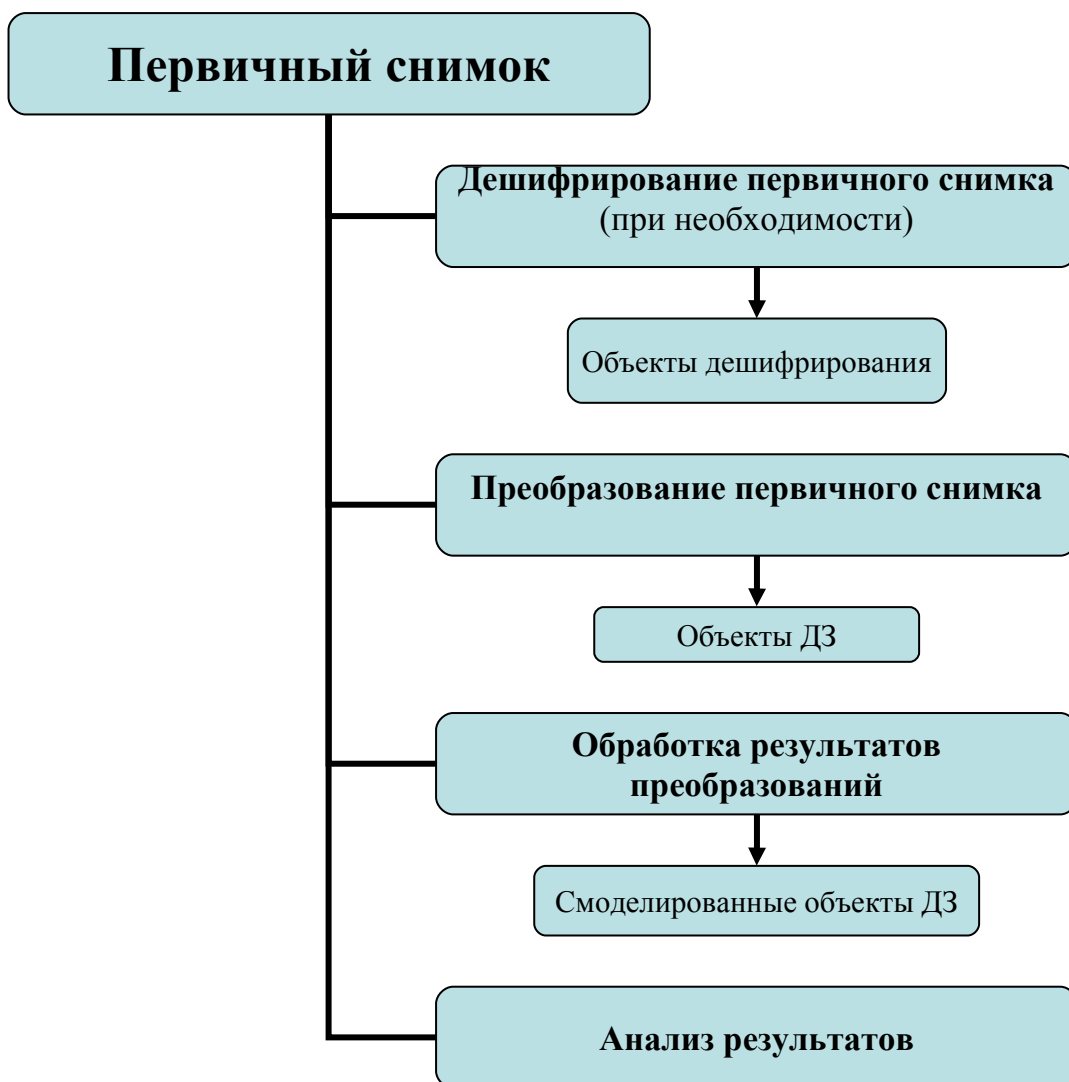


Рисунок 27. Принципиальная схема моделирования по КС

С помощью дистанционного зондирования можно строить и редактировать геологические карты и специальные геологические карты, масштаба 1 : 200 000 и мельче. Причем данные карты при сравнении снимков за разное время могут существенно различаться, следовательно, т.о. осуществляется мониторинг геологической среды. Основным и важным моментов при дешифрировании АФС и КС остается определение тектонических нарушений и геологических структур.

1.6. МЕТОДИКА ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Исходя из целей и задач геолого-картографического моделирования – решения вопросов прогностического характера – главным является проведение прогноза месторождений полезных ископаемых и различного рода геологических процессов и явлений. Для достижения этих целей необходима методика ведения моделирования с использованием допустимо-минимальной информации без искажений результатов с учетом максимально-возможной информации.

При решении поставленной задачи, исследователь должен быть уверен, что ничего не упущено. В случае построения определенной геолого-картографической модели должна быть уверенность, что использованы все факторы, критерии и объекты или хотя бы их допустимо-минимальное количество. Это обуславливает применения комплексного моделирования, которое сочетает в себе все методы или их максимально возможное количество. Безусловно, нужно понимать, что для решения прогностической задачи определения возможных мест месторождений, метод экспериментального моделирования не совсем пригоден (не считая специфических полезных ископаемых). Методы теоретического моделирования, так часто используемые в геологии для решения прогностических задач, так же не совсем объективно отражают фактическую картину. Естественно полностью отвергать теоретическое моделирование нельзя, но и акцентироваться на нем не стоит. Необходимо определить основные методы при комплексном подходе и второстепенные. Но прежде чем, устанавливать приоритет методов, необходимо рассмотреть всю доступную картографическую информацию с разложением ее на картографические, геолого-картографические объекты и возможность их использования при моделировании для решения поставленной задачи. Необходимо из всей картографической информации определить минимально-допустимое и максимально-возможное количества объектов необходимых для моделирования. Множество объектов формируется из подмножеств объектов определенных карт или карта-моделей. Рассмотрим все основные известные карты и карта-модели, объекты которых могут быть задействованы при моделировании.

Основным отличием модели от карты по определению является - наличие новых пространственно или математически смоделированных объектов, тогда, как у традиционной карты картографические объекты получены в результате картирования на местности. Если рассмотреть принятые геологические карты с этих позиций, то большинство из них относятся к геолого-картографическим моделям (табл. 4). К собственно картам по этому отличию, можно отнести лишь непосредственно геологическую карту, карту четвертичных отложений и различные карты фактического материала. Остальные карты относятся к моделям или к карта-моделям. Не обязательно введение данного термина, достаточно понимать, что карта создана с использованием смоделированных объектов. Однако, как упоминалось, выше некоторые исследователи относят все геологические карты к моделям, кроме карт фактического материала. Для однозначного понимания различия между геологической картой и геологической моделью необходимо учитывать приоритет способов формирования картографической информации. Для геологической карты приоритетные способы формирования информации – геологическая съемка на местности, геологическое картирование, для геологической модели – моделирование новых объектов по отснятым, закартированным объектам.

Итак, используемая картографическая информация для геолого-картографического моделирования состоит из набора традиционных карт и карта-моделей: топографической основы, совокупности различных геологических, геофизических карт, аэрофотоснимков, космических снимков и данных аппаратного сканирования Земли.

В составе традиционной топографической основы или топографической карты в виде групп картографических объектов имеется: рельеф, гидрография, растительность,

инфраструктура и дополнительные объекты. Каждая группа включает в себя отдельные наборы типовых объектов – точки, линии, полигоны. В группе рельеф: изолинии – линии, отметки высот – точки, цифровая модель рельефа – поверхность. Нет необходимости расписывать картографические объекты топографической основы, необходимо определиться с теми объектами, которые важны для проведения определенного моделирования. Здесь важным моментом является момент постановки задачи моделирования. Так для моделирования прогнозной карты месторождений полезных ископаемых объекты будут одни, а для моделирования, к примеру, геолого-патогенной карты объекты могут быть совершенно иными. Выборка объектов из множества является, как логической задачей, так и задачей, решаемой в результате проведенных дополнительных математических статистических исследований с выявлением определенных закономерностей и связей. Данная задача, не смотря на свой захватывающий интерес, для геолого-картографического моделирования является все же прикладной задачей. Мы остановимся на логической выборке объектов из основного множества с критерием, как наиболее основных, наиболее важных. Для этого необходимо принять аксиоматический принцип: геология первична – рельеф вторичен. То есть рельеф, как определенной территории, так и всей планеты Земли определен геологическими, в частности тектоническими причинами.

Для моделирования с целью прогноза месторождений полезных ископаемых из набора объектов топографической основы наиболее важными являются рельеф и гидрография. Конечно, может существовать определенная некая связь между иными объектами и вероятными местами месторождений, к примеру, между покровом растительности, но эти связи не основные. Речная сеть полностью зависит от рельефа. Рельеф определен геологическими причинами.

В геологии, геологическом картировании и геофизических исследованиях выработались основные методологические подходы, нашедшие свое отражение в виде совокупности традиционных карт (карта-моделей). Ниже приводится состав картографической информации в виде картографических объектов топографической основы, совокупности, традиционных геолого-геофизических карт, АФС, КС и рассмотрены возможности использования картографических объектов для моделирования прогноза месторождений полезных ископаемых и различного рода явлений и процессов геологического или косвенно-геологического характера.

Таблица 5. Список картографических объектов топографической основы, совокупности геолого-геофизических карт и дистанционного зондирования с возможностью использования при геолого-картографическом моделировании

Номер	Картографическая информация (карта, карта-модель, снимок)	Геолого-картографический объект, картографический объект (КО)	Тип КО (Примечание: контур не является КО, входит в состав полигона)	Прогнозирование месторождений	Прогнозирование процессов
	аномалий силы тяжести	поле силы тяжести	поверхность	да	да
2	АФС	тектонические нарушения	линия	да	да
3	АФС	дешифрированные структуры	полигон	да	да
4	АФС	границы дешифрированных структур	контур полигона	нет	нет
5	АФС	природно-ландшафтный комплекс (ПЛК)	поверхность	да	да
6	АФС	элементы рельефа	точка	нет	да
7	геологическая	параметры залегания пород	точка	нет	да
8	геологическая	тектонические нарушения	линия	да	да
9	геологическая	геологические подразделения	поверхность	да	да
10	геологическая	геологические границы	контур	нет	нет
11	геологических формаций	формации	поверхность	да	да
12	геологических формаций	границы геологических формаций	контур	нет	нет
13	геолого-экологическая	аномалии, различного рода и генезиса	полигон	да	да
14	геолого-экологическая	геолого-экологические зоны	полигон	нет	да
15	геолого-экологическая	зоны урбанизации	полигон	нет	да
16	геолого-экологическая	техногенные загрязнения	полигон	нет	да
17	геоморфологическая	границы геоморфологических поверхностей	контур	нет	нет
18	геоморфологическая	геоморфологические формы	полигон	да	да
19	геоморфологическая	геоморфологические элементы	точка	нет	да
20	геоморфологическая	геоморфологические поверхности	поверхность	да	да
21	геотермическая	поле (изолинии) геотерм	поверхность	да	да
22	геохимическая	геохимические аномалии	полигон	да	да
23	гидрогеологическая	гидрогеологические комплексы и горизонты	поверхность	да	да
24	гидрогеологическая	границы комплексов	контур	нет	нет
25	гидрогеологическая	количественные параметры ПВ	точка	да	да
26	гидрогеологическая	химический состав ПВ	точка	да	да
27	гидрогеологическая	глубины залегания УПВ	поверхность	да	да
28	гидрогеохимическая	гидрогеохимические аномалии	полигон	да	да
29	глубинного строения	изолинии глубинного строения	поверхность	да	да
30	глубинного строения	границы глубинных структур	контур	нет	нет
31	глубинного строения	глубинные структуры	полигон	да	да
32	границных скоростей	поле скоростей	поверхность	да	да
33	графических скоростей	поле скоростей	поверхность	да	да
34	грунтовая	количественные параметры грунтов	точка	нет	да

Номер	Картографическая информация (карта, карта-модель, снимок)	Геолого-картографический объект, картографический объект (КО)	Тип КО (Примечание: контур не является КО, входит в состав полигона)	Прогнозирование месторождений	Прогнозирование процессов
35	грунтовая	границы грунтовых подразделений	контур	нет	нет
36	грунтовая	подразделения грунтов	поверхность	нет	да
37	донных осадков	границы площадей донных осадков	контур	нет	нет
38	донных осадков	количественные параметры донных осадков	точка	нет	да
39	донных осадков	площади донных осадков	полигон	нет	да
40	инженерно-геологическая	подразделения грунтов	поверхность	нет	да
41	инженерно-геологическая	границы грунтовых подразделений	контур	нет	нет
42	инженерно-геологическая	количественные параметры грунтов	точка	нет	да
43	инженерно-геологическая	экзогенные явления и процессы	точка	нет	да
44	КС	границы региональных ПЛК	контур	нет	нет
45	КС	границы полей ДЗ	контур	нет	нет
46	КС	элементы рельефа	поля	нет	да
47	КС	границы структур ДЗ	контур	нет	нет
48	КС	поля ДЗ	полигон	да	да
49	КС	структуры ДЗ	полигон	да	да
50	КС	тектонические нарушения	линия	да	да
51	КС	линиаменты	линия	да	да
52	КС	региональные ПЛК	поверхность	да	да
53	литологическая	границы литологических подразделений	контур	нет	нет
54	литологическая	литологические подразделения	поверхность	да	да
55	литолого-палеографическая	границы	контур	нет	нет
56	литолого-палеографическая	литолого-палеографические подразделения	поверхность	да	да
57	литолого-фациальная	литолого-фациальные подразделения	поверхность	да	да
58	литолого-фациальная	границы	контур	нет	нет
59	магматических формаций	границы магматических формаций	контур	нет	нет
60	магматических формаций	магматические формации	полигон	да	да
61	магнитная	магнитное поле	поверхность	да	да
62	месторождений полезных ископаемых	месторождения и проявлений	точка	да	да
63	минерагеническая	границы территорий	контур	нет	нет
64	минерагеническая	территории развития месторождений	полигон	да	да
65	мощностей	поля (изопахиты) мощностей	поверхность	да	да
66	неотектоническая	параметры неотектонических движений	точка	нет	да
67	неотектоническая	границы структур	контур	нет	нет
68	неотектоническая	неотектонические структуры	полигон	да	да
69	нефтегазоносности	границы ареалов	контур	нет	нет
70	нефтегазоносности	структуры нефти и газа	полигон	да	да

Номер	Картографическая информация (карта, карта-модель, снимок)	Геолого-картографический объект, картографический объект (КО)	Тип КО (Примечание: контур не является КО, входит в состав полигона)	Прогнозирование месторождений	Прогнозирование процессов
71	нефтегазоносности	границы месторождений	контур	нет	нет
72	нефтегазоносности	нефтегазоносные ареалы	полигон	да	да
73	нефтегазоносности	границы структур	контур	нет	нет
74	нефтегазоносности	месторождения нефти и газа	полигон	да	да
75	осадочных формаций	осадочные формации	полигон	да	да
76	осадочных формаций	границы формаций	контур	нет	нет
77	палеографическая	палеогеографические обстановки	поверхность	да	да
78	палеографическая	границы обстановок	контур	нет	нет
79	пластовых скоростей	поле скоростей	поверхность	да	да
80	подсчета запасов	горные выработки и скважины	точка	нет	нет
81	подсчета запасов	параметры блоков и запасов	точка	нет	нет
82	подсчета запасов	параметры выработок и скважин	точка	нет	нет
83	подсчета запасов	блоки подсчет запасов	полигон	нет	нет
84	прогнозная	параметры прогнозируемых месторождений	точка	да	да
85	прогнозная	места прогнозируемых месторождений	полигон	да	да
86	районирования	территории районирования	полигон	нет	да
87	районирования	границы территорий	контур	нет	да
88	специальной изученности	территории изученности	полигон	нет	нет
89	специальной изученности	границы территорий	контур	нет	нет
90	структурная	поверхности залегания геологических подразделений	поверхность	да	да
91	структурная	параметры залегания структурных поверхностей	точка	нет	да
92	тектоническая	тектонические структуры	полигон	да	да
93	тектоническая	границы тектонических структур	контур	нет	нет
94	тектоническая	тектонические нарушения	линия	да	да
95	топографическая	инфраструктура	полигон	нет	да
96	топографическая	озера, водохранилища, пруды	полигон	да	да
97	топографическая	болота	полигон	да	да
98	топографическая	речная сеть	линия	да	да
99	топографическая	рельеф	поверхность	да	да
100	фактического материала	горные выработки	точка	нет	нет
101	фактического материала	точки опробования	точка	нет	нет
102	фактического материала	точки наблюдений	точка	нет	нет
103	фактического материала	скважины	точка	нет	нет
104	фаций	фациальные подразделения	полигон	да	да
105	фаций	границы фациальных подразделений	контур	нет	да
106	четвертичных отложений	мощность четвертичных отложений	поверхность	да	да
107	четвертичных отложений	экзотектонические разломы	линия	да	да

Номер	Картографическая информация (карта, карта-модель, снимок)	Геолого-картографический объект, картографический объект (КО)	Тип КО (Примечание: контур не является КО, входит в состав полигона)	Прогнозирование месторождений	Прогнозирование процессов
108	четвертичных отложений	геологические границы	контур	нет	нет
109	четвертичных отложений	геологические подразделения	поверхность	да	да
110	электромагнитных свойств	поле электромагнитных свойств	поверхность	да	да

ИТОГО,

количество карт, карта-моделей и снимков: 34

количество КО: 110 – 28 (контур полигонов) = 82

количество КО с возможностью моделирования прогноза месторождений: ... 55

количество КО с возможностью моделирования процессов и явлений:..... 75

Это максимально-возможный набор картографической информации и объектов. Он может не ограничиваться данным числом. Для минимально-допустимого количества объектов необходимо рассмотреть все множество более подробно. Так, некоторые одинаковые объекты входят в состав различных карт – тектонические нарушения в составе геологической, тектонической карты, АФС и КС. Наблюдается повторение одинаковых объектов: в литолого-фациальной карте и карте фаций; карте геологический формаций, геологической карте и карте магматических формаций (магматические формации в составе геологической карты) и схожесть объектов (мощности на карте мощностей и мощность четвертичных отложений). С геофизических карт достаточен единственный объект - комплексные геофизические аномалии. Геофизические карты скоростей для прогноза не существенны (для прогноза нефти используются профиля). С учетом повторений геолого-картографических объектов и специфики прогноза (твердые полезные ископаемые, нефть и подземные воды) можно определить минимально-допустимое количество объектов (табл. 6).

Таблица 6. Расчет минимально-допустимых количеств КО для моделирования прогноза месторождений полезных ископаемых

Возможные КО для моделирования прогноза месторождений	Повтор КО	Учет повтора, отрицание не основных и геофизических КО	Минимально-допустимые КО (учет повтора, отрицание не основных, геофизических и некоторых второстепенных)		
			Расчет 1		Расчет 2
болота	1	+	1	+	1
геологические формации	1	= геологические подразделения	0	= геологические подразделения	0
геологические подразделения	2	+	1	+	1
геолого-экологические	1	-	0	-	0

Возможные КО для моделирования прогноза месторождений	Повтор КО	Учет повтора, отрицание не основных и геофизических КО	Расчет 1	Минимально-допустимые КО (учет повтора, отрицание не основных, геофизических и некоторых второстепенных)	Расчет 2
аномалии, различного рода и генезиса					
геоморфологические поверхности	1	+	1	+	1
геоморфологические формы	1	+	1	-	0
геохимические аномалии	1	+	1	+	1
гидрогеологические комплексы и горизонты	1	-	0	-	0
гидрогеохимические аномалии	1	-	0	-	0
глубинные структуры	1	= тектонические структуры	0	= тектонические структуры	0
глубины залегания УПВ	1	-	0	-	0
дешифрированные структуры	1	= геологические подразделения, разломы	0	= геологические подразделения, разломы	0
изолинии глубинного строения	1	+	1	-	0
количественные параметры ПВ	1	-	0	-	0
линияменты	1	+	1	+	1
литологические подразделения	1	= фациальные подразделения	0	= фациальные подразделения	0
литолого-палеогеографические подразделения	1	= фации	0	= фации	0
литолого-фациальные подразделения	1	= фациальные подразделения	0	= фациальные подразделения	0
магматические формации	1	= геологические подразделения	0	= геологические подразделения	0
магнитное поле	1	-	0	-	0
места прогнозируемых месторождений	1	= территории развития месторождений	0	= территории развития месторождений	0
месторождения и проявлений	1	+	1	+	1
месторождения нефти и газа	1	= месторождения и проявления	0	= месторождения и проявления	0
мощность четвертичных отложений	1	= поля мощностей	0	= поля мощностей	0
неотектонические структуры	1	-	0	-	0
нефтегазоносные ареалы	1	= территории развития месторождений	0	= территории развития месторождений	0
озера, водохранилища, пруды	1	= речная сеть	0	= речная сеть	0
осадочные формации	1	= фации	0	= фации	0
палеогеографические обстановки	1	+	0	+	1
параметры прогнозируемых месторождений	1	-	0	-	0
поверхности залегания геологических подразделений	1	+	1	+	1

Возможные КО для моделирования прогноза месторождений	Повтор КО	Учет повтора, отрицание не основных и геофизических КО	Расчет 1	Минимально-допустимые КО (учет повтора, отрицание не основных, геофизических и некоторых второстепенных)	Расчет 2
поле (изолинии) геотерм	1	-	0	-	0
поле силы тяжести	1	-	0	-	0
поле скоростей	3	-	0	-	0
поле электромагнитных свойств	1	-	0	-	0
поля (изопахиты) мощностей	1	+	1	-	0
поля ДЗ	1	= структуры ДЗ	0	= структуры ДЗ	0
природно-ландшафтный комплекс (ПЛК)	1	+	1	-	0
региональные ПЛК	1	= ПЛК	0	= ПЛК	0
рельеф	1	+	1	+	1
речная сеть	1	+	1		1
структуры ДЗ	1	+	1	+	1
структуры нефти и газа	1	= месторождения и проявления	0	-	0
тектонические нарушения	4	+	1	+	1
тектонические структуры	1	+	1	+	1
территории развития месторождений	1	+	1	= месторождения и проявления	0
фациальные подразделения	1	+	1	+	1
химический состав ПВ	1	-	0	-	0
экзотектонические разломы	1	= тектонические нарушения	0	= тектонические нарушения	0
Количество КО для прогноза			18		
Минимально-допустимое количество КО для прогноза					14

С учетом геофизической информации с объектом комплексных геофизических аномалий, минимально-допустимое количество объектов 15.

В соответствии с формулой (15):

$$N = n - h,$$

где N – количество объектов взятых для моделирования равное 15, n – всего количество объектов картографической информации равное 82 и h – количество логически отвергнутых объектов, равное 67.

В соответствии с формулой 16 ($P = N - 1$) количество факторов подобия:

$$P = 15 - 1 = 14.$$

Таким образом, установлено минимально-допустимое количество факторов подобия или критериев для моделирования прогноза месторождений полезных ископаемых.

При комплексном подходе к моделированию прерогатива методов определяется по полноте объема возможного количества используемой картографической информации в том или ином методе, набору объектов, по которым возможно проведение моделирования метода и их типы (табл. 8). Наиболее полная возможность использования всей без исключения картографической информацией представляется при теоретическом моделировании, анализе факторов подобия, построения поверхностей и объемном моделировании. Полный набор картографических объектов моделирования возможен при теоретическом методе и анализе факторов подобия. При методах построения поверхностей и объемном моделировании используются те объекты, по которым есть возможность отстроить поверхность (набор значимых точек наблюдений). Все без исключения типы картографических объектов могут использоваться при теоретическом моделировании, анализе факторов подобия и объемном моделировании. К последнему методу добавляются специфические объемные объекты – 3D формы. Методы дистанционного зондирования специфичны по составу картографической информации (растры), несмотря на полный набор типовых объектов. Моделирование по аппаратно сканированным данным не рассматривается из-за технических возможностей его использования – этот метод совместно с объемным моделированием будут основными методами в будущем. Экспериментальное моделирование, весьма специфично и узко специализировано и используется главным образом для других целей.

Таблица 7. Прерогатива методов при комплексном подходе

<i>МЕТОДЫ</i>	<i>Объем КИ</i>	<i>Набор КО моделирования</i>	<i>Типы КО</i>	<i>Количество типовых КО</i>	<i>Баллы</i>	<i>Прерогатива</i>
АБСТРАКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ						
Теоретическое	полный	все	точки, линии, полигоны, поверхности	4	6	I
Экспериментальное	неполный	сымитированные	неопределенные	?	0	-
ФАКТОЛОГИЧЕСКОЕ						
Анализ факторов подобия	полный	все	точки, линии, полигоны, поверхности	4	6	I
Построение и анализ поверхностей	полный	объекты построения поверхностей	точки, линии, полигоны, поверхности	4	5	II
Объемное моделирование	полный (трехмерный)	объекты построения поверхностей	точки, линии, полигоны, поверхности, 3D формы	5	6	I
ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ						
Моделирование по АФС и КС	специальный (снимки)	объекты ДЗ	линии, полигоны, поверхности	3	3	III
Моделирование по АСД	специальный (аппаратный)	-	-	-	-	-

По объему картографической информации и возможности использования картографических объектов при комплексном подходе к моделированию методы подразделяются, следующим образом. Основными методами являются теоретическое

моделирование, анализ факторов подобия и объемное моделирование. За ними идет метод построения и анализа поверхностей. Последним является метод дистанционного зондирования. Однако, методика процесса моделирования, не смотря на прерогативу тех или иных методов, выглядит несколько иначе. Объемный метод более всего подходит к построению моделей и проведения исследований по отдельно взятым месторождениям или решения вопросов структурной геологии. Теоретическое моделирование, необходимо, в виде обобщенного научного подхода, опирающегося на определенную теорию, оно необходимо для разработки и представления стратегии ведения анализа, но метод не является основным при решении прогнозных задач. Основными методами остаются анализ факторов подобия и построение поверхностей, но метод построения поверхности пригоден только в том случае, когда имеется подходящие объекты – набор точек наблюдений по кондиционной сети. В результате выходит, что ведущим методом является метод анализа факторов подобия. Прочие методы являются вспомогательными и дополняющими процесс моделирования.

Принципиальная схема ведения геолого-картографического моделирования для решения прогнозных задач выглядит следующим образом (рис.).

а) Из всего множества объектов картографической информации определяется минимально-допустимое и максимально-возможное количество объектов необходимое для проведения моделирования с определенной целью – устанавливаются критерии или факторы подобия.

б) По допустимой выборке объектов из множества объектов картографической информации проводится построение и анализ поверхностей - моделируются новые объекты – определенные геолого-картографические поверхности.

в) По картографической информации АФС и КС моделируются новые картографические объекты – объекты ДЗ

г) Из вновь сформировавшегося множества объектов: закартированные объекты картографической информации и смоделированные объекты при построении поверхностей и ДЗ, проводится выборка объектов необходимых для проведения моделирования, в количестве, определенном на этапе а).

д) По выборке объектов проводится анализ факторов подобия и моделируются объекты, являющиеся результативными объектами решаемой задачи.

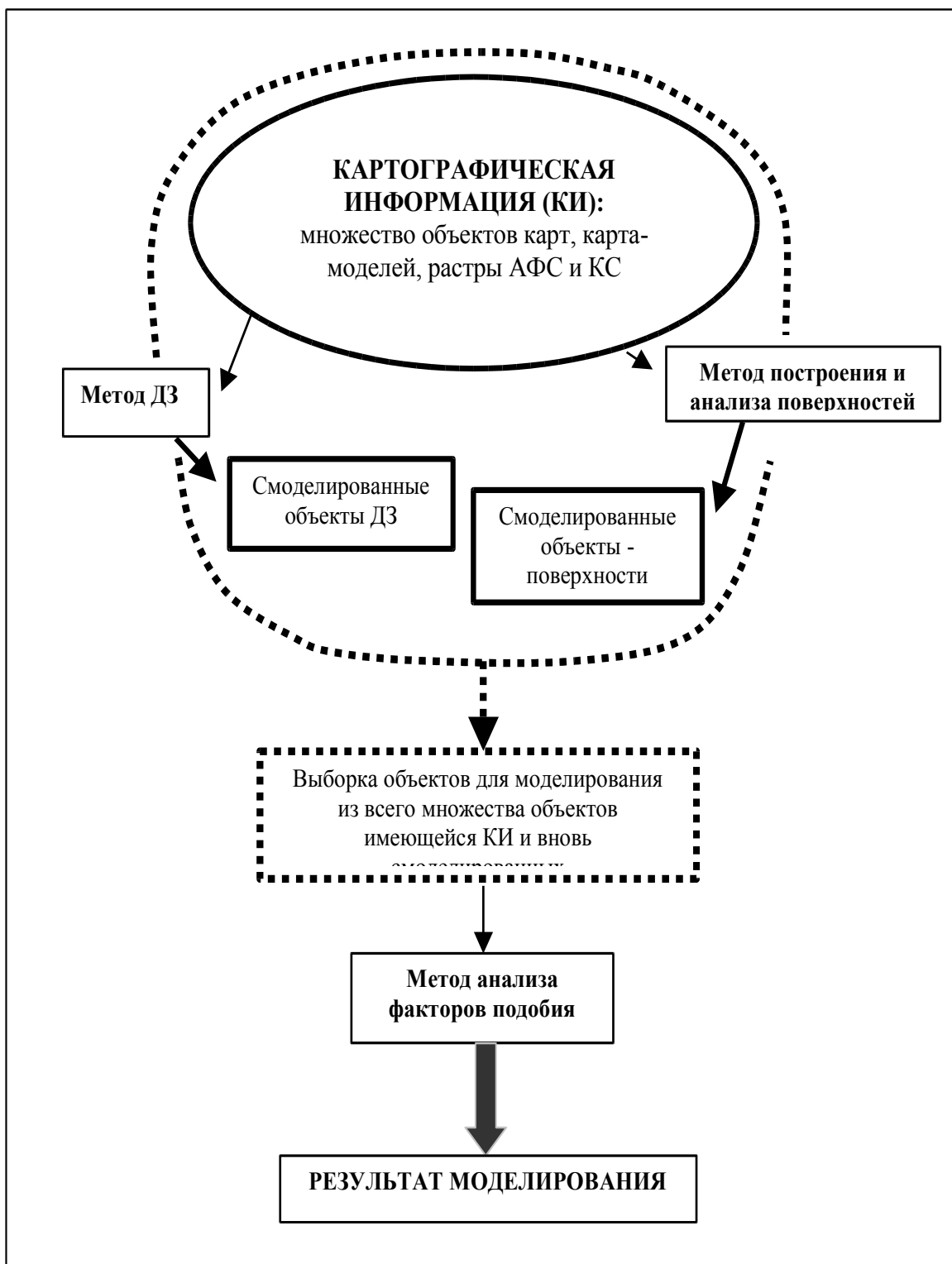


Рисунок 28. Принципиальная схема проведения геолого-картографического моделирования для решения прогнозных задач

1.6.1. ГЕОЛОГО-КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРОГНОЗА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ (ФАКТОРЫ ПОДОБИЯ)

Количество минимально-возможных объектов для моделирования и факторов подобия прогноза месторождений полезных ископаемых, исходя из минимально-возможных картографических объектов, изъятых из множества картографической информации, выведено в предыдущей главе. В главе «Методы геолого-картографического моделирования. Анализ факторов подобия», предложен принцип установления факторов подобия. Для определения смысловой нагрузки факторов (критериев) необходимо попарно сопоставит моделируемый объект с объектами, по которым осуществляется моделирования. При этом сопоставлении осуществляется осмысления критерия и в дальнейшем анализируются связи или устанавливается факт их отсутствия (табл. 8).

Таблица 8. Определение состава факторов подбоя (критериев) прогноза месторождений полезных ископаемых

№	КО	МОДЕЛИРУЕМЫЙ КО	КРИТЕРИЙ
	РЕЛЬЕФ		Рельефа
1	рельеф	месторождения	рельефа 1 – собственно рельефа
2	речная сеть	месторождения	рельефа 2 – речной сети
3	болота	месторождения	рельефа 3 - форм рельефа
	ГЕОЛОГИЯ		Геологический
4	геологические подразделения	месторождения	собственно геологический
5	поверхности залегания геологических подразделений	месторождения	структурный
6	фациальные подразделения	месторождения	фациальный
			Геохимический
7	геохимические аномалии	месторождения	геохимический
	ТЕКТНИКА		Тектонический
8	тектонические нарушения	месторождения	тектонический 1 – тектонических разломов
9	тектонические структуры	месторождения	тектонический 2 – тектонических структур
	ГЕОМОРФОЛОГИЯ		Геоморфологический
10	геоморфологические поверхности	месторождения	геоморфологический
11	палеогеографические обстановки	месторождения	палеогеоморфологический
	ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ		Дистанционного зондирования
12	линеаменты и разломы	месторождения	зондирования 1 - линеаментов
13	структуры ДЗ	месторождения	зондирования 2 – структур ДЗ
	ГЕОФИЗИКА		Геофизический
14	комплексные геофизические аномалии	месторождения	геофизический

Необходимо учитывать, что сопоставление моделируемого объекта – месторождения, с объектами, по которым проводится моделирование, осуществляется по каждому виду полезного ископаемого в отдельности или хотя бы по группе полезных ископаемых (черные металлы, цветные металлы, благородные и т. д.). Количество связей - факторов определяется соотношением:

$$P = k(N - 1), \quad (16)$$

где k – количество видов полезных ископаемых или их групп.

Факторы подобия или геолого-картографические критерии месторождений полезных ископаемых по минимально допустимому количеству картографических объектов, следующие:

1. КРИТЕРИИ РЕЛЬЕФА

- 1.1. **Собственно критерий рельефа** – взаимосвязь определенного рельефа с определенными месторождениями.
- 1.2. **Критерий речной сети** – связь определенных месторождений с речными долинами (россыпи).
- 1.3. **Критерий форм рельефа** – в данном случае связь месторождений с болотным комплексом, как показателем депрессий рельефа и развития торфа.

2. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

- 2.1. **Собственно геологический критерий (стратиграфический)** – взаимосвязь месторождений с местами распределения определенных геологических пород и отложений.
- 2.2. **Структурный критерий** – взаимосвязь месторождений с поверхностями залеганий геологических пород.
- 2.3. **Фациальный (литолого-фациальный) критерий** – взаимосвязь с определенными литологическими, петрографическо-минералогическими разностями пород и различными стратиграфическими подразделениями.

3. ГЕОХИМИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ – геохимические аномалии отложений и пород - прямой поисковый признак месторождений.

4. ТЕКТОНИЧЕСКИЙ КРИТЕРИИ

- 4.1. **Критерий тектонических разломов** - установление связи определенных месторождений с определенными тектоническими нарушениями.
- 4.2. **Критерий тектонических структур** – установление связи определенных месторождений с тектоническими структурами.

5. ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ

- 5.1. **Собственно геоморфологический** – связь с геоморфологическими поверхностями и формами

6. ПАЛЕОГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ – взаимосвязь с палеорельефом и палеогеоморфологическими поверхностями и формами.

7. КРИТЕРИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

- 6.1. **Критерий линеаментов (линеаментный анализ)** – связь месторождений с линеаментами и тектоническими нарушениями, установленными при ДЗ.
- 6.2. **Критерий структур ДЗ** – связь с определенными структурами, установленными при ДЗ.

8. ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ – комплексные геофизические аномалии различной природы – поисковый признак месторождений.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ

2.1. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

В XVIII – XIX веках традиционным полезным ископаемым Пермской губернии (в пределах края) являлось железо, золото и медь. К концу XX века месторождения железа истощились, оставшиеся мелкие оказались не рентабельными, а в районе г. Качканар (Свердловская обл.) в XX веке было открыто месторождения железа с запасами удовлетворяющую металлургическую промышленность Среднего Урала. Месторождения меди в начале XX века оказались не рентабельными исходя из потребностей новой экономики, а наиболее крупные россыпные месторождения золота были отработаны.

В XX веке в составе минерально-сырьевой базы Пермского края основными полезными ископаемыми стали калийные соли, нефть, хром, алмазы, известняк для химической промышленности и прочие ископаемые, занимающее подчиненное положение в отношении финансовой значимости, но не менее важные по хозяйственной потребности. Обеспеченность запасами калийных солей более 100 лет, нефти 45 – 50 лет, хрома 50 - 90 лет и алмазов 10 лет без учета повышения темпов добычи. Сама критическая необеспеченность наблюдается по алмазному сырью. Основным экономически важным является топливозаэнергетическое сырье – нефть, на котором держится экономика России. И конъюнктура мирового рынка складывается в последние годы таким образом, что востребованными являются лишь месторождения нефти, газа, цветных, благородных металлов, алмазов и урана [].

Для России в последнее время остродефицитными полезными ископаемыми стали хром, марганец, алюминий, чистый кварц, уран (без учета складских запасов). Ликвидными полезными ископаемыми продолжают оставаться алмазы, золото, платина и цветные металлы [].

Основным геополитическим вопросом края являться вопрос определения основного полезного ископаемого или группы ископаемых на XXI век с условием конечности традиционного топливозаэнергетического сырья.

Исходя, из потребностей страны, состава МСБ края и его потенциала наиболее насущным является прогнозирование месторождений следующих полезных ископаемых:

- хрома (хромитов), марганца, золота, платины, редких и цветных металлов, урана;
- алмазов, особо чистого кварца.

С другой стороны состав МСБ полностью определяется экономическими причинами, которые могут быть обусловлены, как развитием новых прогрессивных технологий, так и чисто политическими мотивами, из-за этого потребность экономики будущего в том или ином виде полезных ископаемых остается остро дискуссионным вопросом. Достаточно уверенно можно утверждать только в отношении полезных ископаемых являющихся сырьем для строительства – они будут востребованы всегда, по крайней мере, в течение текущего столетия.

Исходя из сложившейся геополитической ситуации мной проведено прогнозирование месторождений полезных ископаемых посредством геолого-картографического моделирования на следующие виды -

Топливозаэнергетическое сырье:

- Уран и торий

Металлические ископаемые:

- Хром (хромиты)
- Марганец
- Золото
- Платина
- Цветные металлы

Неметаллические ископаемые:

- Алмазы

При прогнозировании месторождений решался основной вопрос – утверждения раздела картографической геологии – геолого-картографического моделирования, как подходящего нового направления для решения прогнозных задач (не отвергая старые, традиционные методы).

Для моделирования использовалась следующая картографическая информация –

- цифровые карты масштаба 1 : 200 000 Пермского края:

1. Топографическая карта
2. Модель современного рельефа
3. Геологическая карта (в авторской разработке)
4. Космические снимки масштабов 1 : 100 000 и 1 : 50 000;

- цифровые карты масштаба 1 : 100 000 Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей (ВКМКМС):

5. Топографическая карта (авторская)
 6. Геологическая карта
- растровые сканированные карты:
7. Тектоническая карта Урала (1985) масштаба 1 : 500 000
 8. Тектоническая карта ВКМКМС масштаба 1 : 100 000.

Так же были использованы базы данных:

1. Месторождений и проявлений полезных ископаемых
2. Гидрогеологических скважин
3. Разведочных скважин ВКМКМС
4. Результаты геохимического опробования ВКМКМС
5. Результаты аэромагнитных наблюдений по сети 250 x 250 м

В ходе моделирования были созданы следующие карты масштаба 1 : 200 000, по критериям:

- рельефа и дистанционного зондирования – Структурнорельефо-тектоническая карта и Карта взаимосвязи рельефа с полезными ископаемыми,
- геологии – геологическая карта,
- дистанционного зондирования – Карта линеаментов,
- геоморфологии – Карта доплейстоценового рельефа,
- геофизики – Карта магнитного поля и Карта магнитных аномалий.

2.1.1. ПРИМЕР МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРАНА И ТОРИЯ

Прогнозирование и моделирование месторождений урана и тория было проведено не по фактическим данным (фактического материала крайне мало или вообще нет), а по эмпирическим обобщениям, основанных на поисковых предпосылках и признаках, с использованием метода теоретического моделирование.

Классификация урано-ториевых месторождений [], соответствует общепринятой классификации (без деления на классы): эндогенные, экзогенные и осадочно-метаморфогенные месторождения. Из эндогенных месторождений группа пегматитовых на анализируемой территории отсутствует, представлены только магматические, контактово-метасоматические и гидротермальные. Что касается двух последних групп, то поисковые предпосылки их достаточно сложны и в полной мере не изучены. Для группы магматических месторождений является известным фактом среднее содержания урана и тория в породах. Наибольшее содержание соответствует интрузивным породам кислого состава, щелочным гранитам (с преобладанием калия над натрием) и сиенитам (табл. 10). По В.И. Данчину магматические породы кислого состава и особенно щелочной серии можно рассматривать в качестве потенциальных источников урана и тория, кроме этого они являются поставщиками радиоактивных элементов в зону поверхностной миграции при процессах выветривания. В 1 км² магматических пород кислого состава заключено минимум 10 000 т урана. Кислые магматические породы, граниты, щелочные граниты, сиениты и прочие являются поисковым признаком магматических месторождений урана и тория.

Таблица 10. Среднее содержание урана и тория в породах по Смыслову А.А. (1974), Данчеву В.,И. (1980)

Породы	U, 10 ⁻⁴ %	Th, 10 ⁻⁴ %
Перидотиты, пироксениты	0,03	0,08
Габбро, диабазы	0,6	1,8
Диориты	1,8	6,0
Гранодиориты	2,1	8,3
Плагииграниты	2,7	9,6
Граниты (K=Na)	4,5	18,0
Щелочные граниты (K>Na)	6,0	25,0
Сиениты	10,3	28,3

При рассмотрении экзогенных и осадочно-метаморфогенных месторождений, установленным фактом является средние содержания урана в осадочных отложениях. Аномально-повышенными значениями характеризуются битуминозные черные и углеродисто-глинистые сланцы, добавочно выделяются урано-фосфатные месторождения. Осаждение урана и редкоземельных элементов происходит совместно с фосфором, причем соотношение содержания урана и P₂O₅ находятся в прямо пропорциональной зависимости. Поэтому фосфориты, алюмофосфатные и фосфор содержащие породы рассматриваться в качестве прямого поискового признака. Так же, общеизвестный факт связи органического вещества с концентрацией урана, являться хорошим поисковым критерием, однако, это применимо на более локальном уровне.

Кроме этого существуют урано-битумные месторождения и месторождения в углистых формациях. Последние теснейшим образом связаны с интрузиями кислого состава, которых в пределах края не наблюдается. Урано-битумные месторождения установлены в пределах нефте-газоносных территорий и естественно месторождения нефти могут являться предпосылками данных месторождений. Для них характерны особые условия – разрушенные эрозией раскрытые нефтегазоносные структуры, такие могут наблюдаться на глубинах предшествующим залежам нефти в карбоне и девоне платформы, когда могло происходить окисление нефти. Поисковым признаком битумов и

месторождений урана данного типа является установления раскрытых нефтяных структур, подвергшихся окислению в геологическом прошлом.

Таблица 11 . Среднее содержание урана и тория в осадочных породах по Смыслову А.А. (1974), Данчеву В.,И. (1980)

Породы	U, 10 ⁻⁴ %
Конгломераты, гравелиты	2,4
Песчаники, алевролиты	2,9
Глины, аргиллиты	4,0
Углеродисто-глинистые сланцы	20,0
Кремнистые сланцы, кварциты	1,7
Глинисто-кремнистые сланцы	2,8
Известняки	1,6
Мергели	2,8
Доломиты	3,7
Битуминозные известняки	7,8
Ангидриты	1,0
Каменная соль	0,9
Каменный уголь	3,4
Торф	5,0
Битуминозные сланцы	200,0

Для проведения моделирования магматических месторождений урана и тория мной использовался фациальный (литолого-фациальный критерий), являющийся подтипом общего геологического критерия, а именно – магматические комплексы кислого состава:

Система	Отдел	Магматический комплекс
Девон	Нижний	Верхнесеребрянский метасиенит - порфир - метатрахидолеритовый комплекс. Первая фаза. Метасиенит-порфиры. Дайки сложного состава субвулканической фации
		Кушвинский габбро-сиенитовый комплекс. Вторая фаза - сиениты
Силур	Нижний	Верхнетагильский габбро-диорит-плагиогранитовый комплекс. Кварцевые диориты, плагиограниты
		Кваркушко - Мартайский комплекс ультракалиевых риолитов. Экструзивное тело
		Ломовский гранитовый комплекс. Гипабиссальный. Альбитизированные граниты и лейкограниты. Дайки, жилы
		Мойвинский лейкогранит-гранодиорит-гранитовый комплекс. Биотит-амфиболовые, биотитовые граниты, двуслюдяные и биотитовые лейкограниты, амфиболовые гранодиориты, кварцевые диориты
		Молебнинский комплекс плагиогранитов - щелочных сиенитов. Плагиограниты, плагиолейкограниты, щелочные сиениты, сиениты. Дайки и силлы субвулканической и гипабиссальной фаций
Ордовик	Верхний	Ольвинский диорит-гранитовый комплекс. Интрузивные тела пластообразной формы, сложенные гранитами
		Посьмакский гранитовый комплекс. Порфиroidные граниты, слагающие тектонический блок, ограниченный тектоническими нарушениями.
		Тылайский комплекс кварцевых сиенит - порфиров. Дайки, сложенные сиенит-порфирами и кварцевыми сиенит-порфирами (сельсбергитами), реже - грорудитами.
Венд	Нижний	Петропавловский габбро-плагиогранитовый комплекс. Кварцевые диорит, диориты.
		Кривинский габбро-гранитоидный комплекс. Третья фаза - плагиогранит.
Венд	Нижний	Троицкий комплекс щелочных граносиенитов. Щелочные граносиениты, кварцевые сиениты. Линзовидная интрузия Троицкого массива.
		Журавликский верлит - габбро - кварцево - сиенитовый комплекс. Дайки и сложная кольцевая интрузия центрального типа. Вторая фаза: кварцевые сиениты и кварцевые сиенит-порфиры.

и как наиболее перспективные по среднему содержанию урана и тория преимущественно сиенитового состава:

Система	Отдел	Магматический комплекс
Девон	Нижний D ₁	Верхнесеребрянский метасиенит - порфир - метатрахидолеритовый комплекс. Первая фаза. Метасиенит-порфиры. Дайки сложного состава субвулканической фации

Силур (S)	Нижний S ₁	Кваркушко - Мартайский комплекс ультракалийевых риолитов. Экструзивное тело
Силур		Молебнинский комплекс плагиогранитов - щелочных сиенитов. Плагиограниты, плагиолейкограниты, щелочные сиениты, сиениты. Дайки и силлы субвулканической и гипабиссальной фаций
Силур		Тылайский комплекс кварцевых сиенит - порфиров. Дайки, сложенные сиенит-порфирами и кварцевыми сиенит-порфирами (сельсбергитами), реже - грорудитами
Венд (V)		Троицкий комплекс щелочных граносиенитов. Щелочные граносиениты, кварцевые сиениты. Линзовидная интрузия Троицкого массива.

Фосфоросодержащие породы и углеродисто-глинистые сланцы, как объекты возможных осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождений:

Система	Отдел	Индекс	Отложения
Ордовик	Средний, верхний	O ₂₋₃ kl	Колпаковская свита. Зеленые и углисто - глинистые сланцы, филлиты, кварциты и кварцито-песчаники
		V ₂ pr	Перевалокская свита. Слюдистые алевролиты, аргиллиты, песчаники фосфатизованные
Венд		V ₁ kv+bt	Объединенные койвинская и бутонская свиты. Углисто-глинистые фосфатизованные сланцы с прослоями песчаников, алевролиты, пачки гематитовых сланцев, тиллитовидных конгломератов, вулканыты дворцекого комплекса
		V ₁ bt	Бутонская свита. Углисто-глинистые фосфатизованные сланцы с прослоями песчаников

Уран и торий Урала. В качестве объектов моделирования были использованы выделенные стратиграфические подразделения и магматические комплексы. По магматическим комплексам была отстроена буферная 2–х километровая зона, отвечающая возможному развитию контактово-метасоматическим месторождениям. Далее был проведен анализ в виде установления зон сочетаний объектов магматических месторождений, их буферных зон с объектами возможных осадочных месторождений.

В результате моделирования было установлено 14 участков перспективных на ураноториевые месторождения (рис.32). Два из них, участки 6 и 11 наиболее обширные, с перспективой осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождений опираются на бутонскую свиту углисто-глинистых фосфатизованных сланцев и очень локальные - участок 8, представленный этой же свитой и участок 9 с перевалокской свитой венда слюдистых алевролитов, аргиллитов и песчаников фосфатизованных. По ордовиксиурическому желобу (Структурнорельефотектоническая карта) развиты породы колпаковской свиты среднего, верхнего ордовика с углисто-глинистыми сланцами, как перспективная территория развития осадочных урано-ториевых месторождений. Участки магматических месторождений и связанные с ними контактово-метасоматическими – это участок 1 - молебнинского магматического комплекса плагиогранитов, щелочных сиенитов, 2; 4 и 5 – мойвинского лейкогранит-гранодиорит-гранитового комплекса, 3 – посьмакского гранитового комплекса, 7 – троцкого комплекса щелочных граносиенитов, 14 – кривинского габбро-гранитоидного комплекса. Наиболее перспективные участки по сочетанию факторов: 10; 12 – кривинского габбро-гранитоидного комплекса плагиогранитов и 13 – ломовского гранитового комплекса гранитов и лейкогранитов. Однако среднее содержания урана и тория в плагиогранитах значительно меньше, чем в гранитах и сиенитах. Из участков выделяются территории сиенитов и щелочных сиенитов – это молебнинский комплекс и Троицкий (участки 1 и 7).

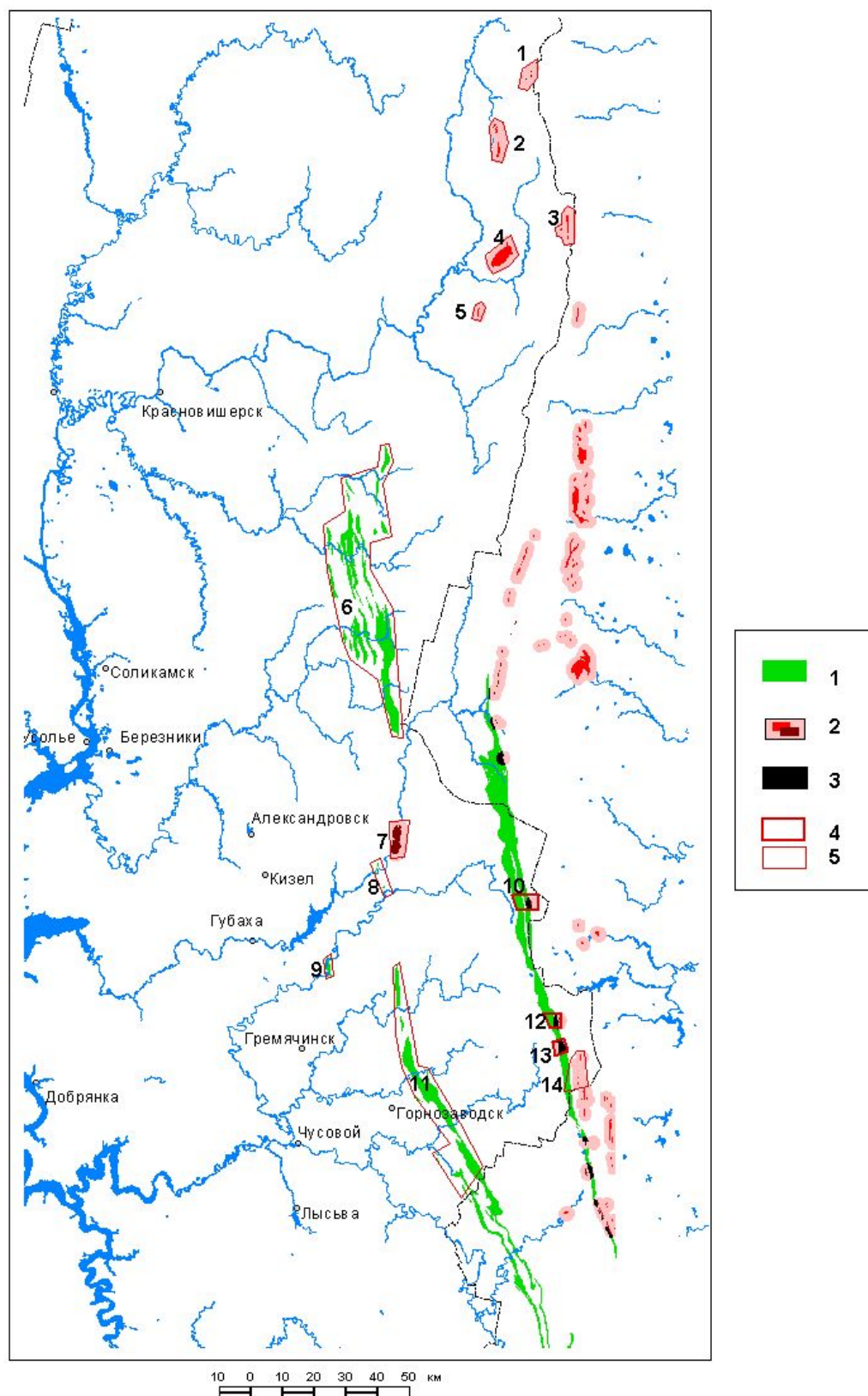


Рисунок 29. Результат моделирования месторождений урана и тория в Пермском крае по складчатому поясу Урала

1 – фосфоросодержащие породы и углеродисто-глинистые сланцы (фактор осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождений), 2 – магматические породы кислого состава, красное – граниты, коричневое – сиениты (фактор магматических месторождений), розовая буферная зона 2-х км зона (фактор контактово-метасоматических месторождений), 3 – места сочетания факторов – наиболее вероятное развитие месторождений, 4 – территории прогнозных месторождений наиболее перспективные, 5 – территории прогнозных месторождений перспективные.