

# КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ГЕОЛОГИИ





## Основные направления применения ГИС-технологий

Типы пространственных задач, которые решаются в геологии с применением геоинформационных систем, можно с достаточной степенью условности подразделить на пять групп:

1. *Создание карт распределения геологической продукции и информации:*
  - а) по административным районам;
  - б) по геологическим структурам.
2. *Создание всех видов собственно геологических и тематических карт.*
3. *Мониторинг различных аспектов геологической среды.*
4. *Районирования территорий.*
5. *Создание 3D моделей геологических объектов для подсчета запасов полезных ископаемых.*

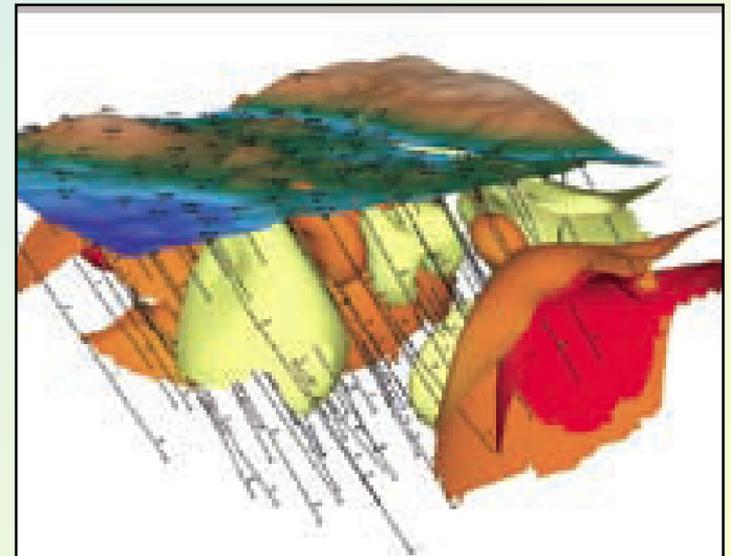
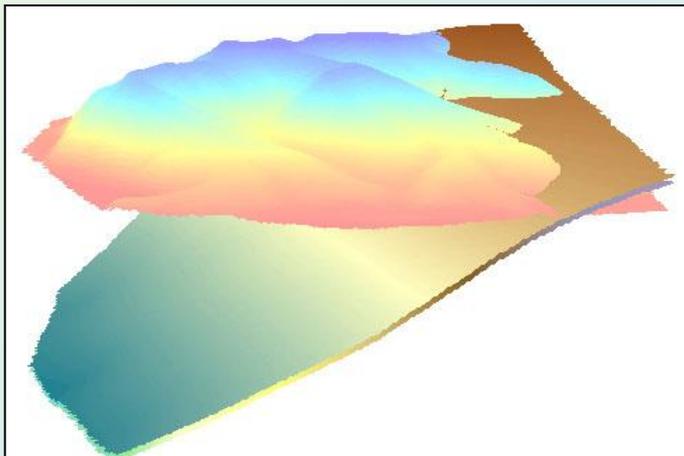


**Создание 3D моделей  
геологических  
объектов для  
подсчета запасов  
полезных  
ископаемых.**

С помощью **дополнительного модуля 3D Analyst** в ArcGIS имеется возможность *построения трехмерных моделей геологических объектов* и осуществления процедур *анализа геолого-геофизических данных в трехмерном пространстве*: вычисления объемов и площадей 3D объектов, изучения особенностей морфологии объектов и их распределения в 3D пространстве.

ArcGIS позволяет осуществлять моделирование следующих типов трехмерных объектов:

- *функциональные поверхности;*
- *дискретные объекты 3D (точки, линии, полигоны);*
- *каркасные модели объемных тел.*



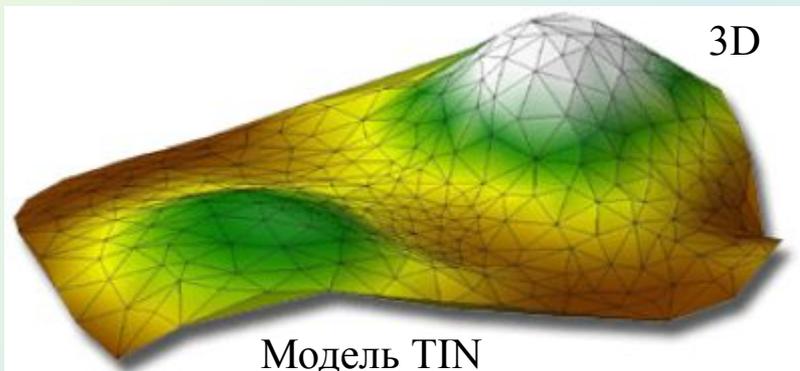
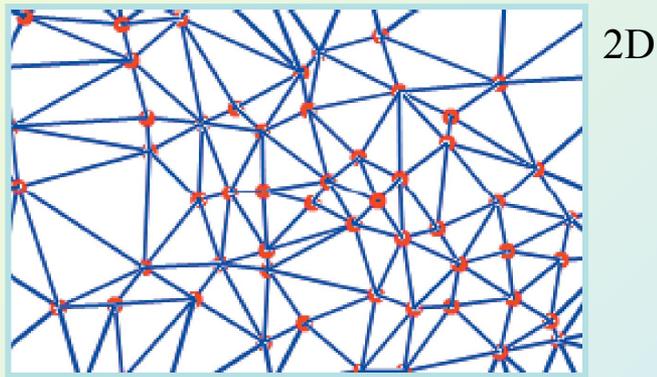


# Моделирование функциональных поверхностей

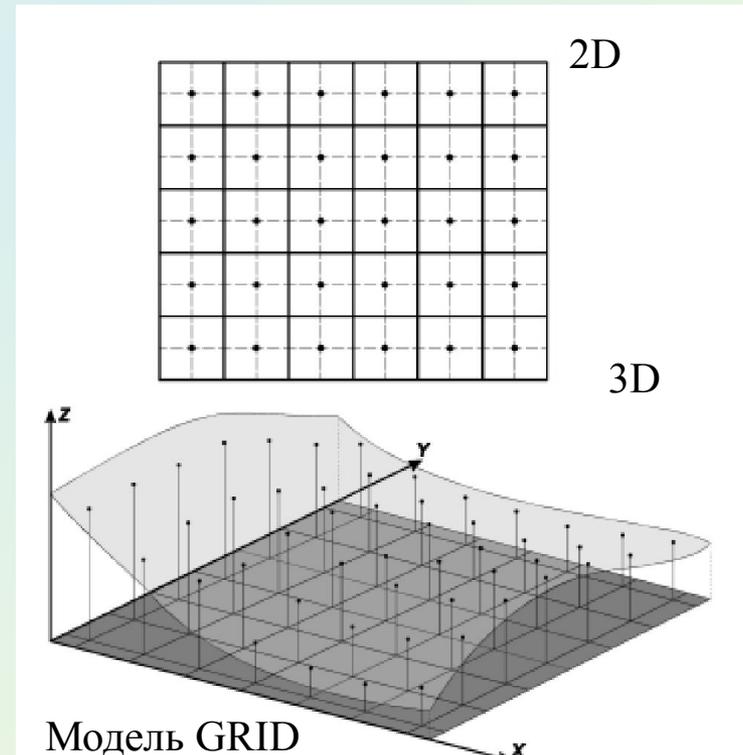
**Функциональные поверхности** – это непрерывные поверхности, которые имеют только одно  $Z$ -значение для каждой пары координат  $X, Y$ .

В ГИС используются 2 способа представления непрерывных поверхностей по конечному набору точек.

## Триангуляционные сети

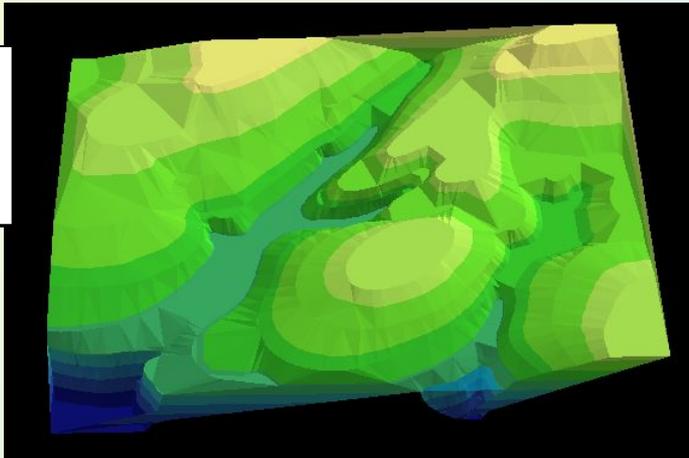


## Регулярно-ячеистые модели





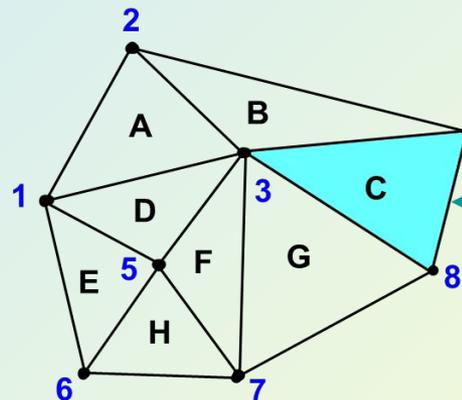
# 1. TIN модели



1. TIN-модели используются для точного моделирования *небольших участков* поверхности.
2. TIN хранятся в *файловой системе компьютера* и не могут быть включены в базу геоданных.
3. TIN-модели создаются только в *системах координат проекций*.

№ узла	X	Y	Z
1	$X_1$	$Y_1$	$Z_1$
2	$X_2$	$Y_2$	$Z_2$
3	$X_3$	$Y_3$	$Z_3$
4	$X_4$	$Y_4$	$Z_4$
5	$X_5$	$Y_5$	$Z_5$
6	$X_6$	$Y_6$	$Z_6$
7	$X_7$	$Y_7$	$Z_7$
8	$X_8$	$Y_8$	$Z_8$

**TIN – векторная топологическая структура данных**

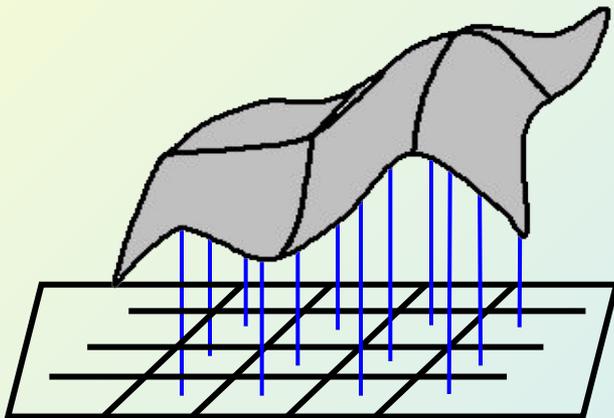


Треугольник	Список узлов	Соседи
A	1,2,3	-,B,D
B	2,4,3	-,C,A
C	4,8,3	-,G,B
D	1,3,5	A,F,E
E	1,5,6	D,H,-
F	3,7,5	G,H,D
G	3,8,7	C,-,F
H	5,7,6	F,-,E



## 1. GRID модели

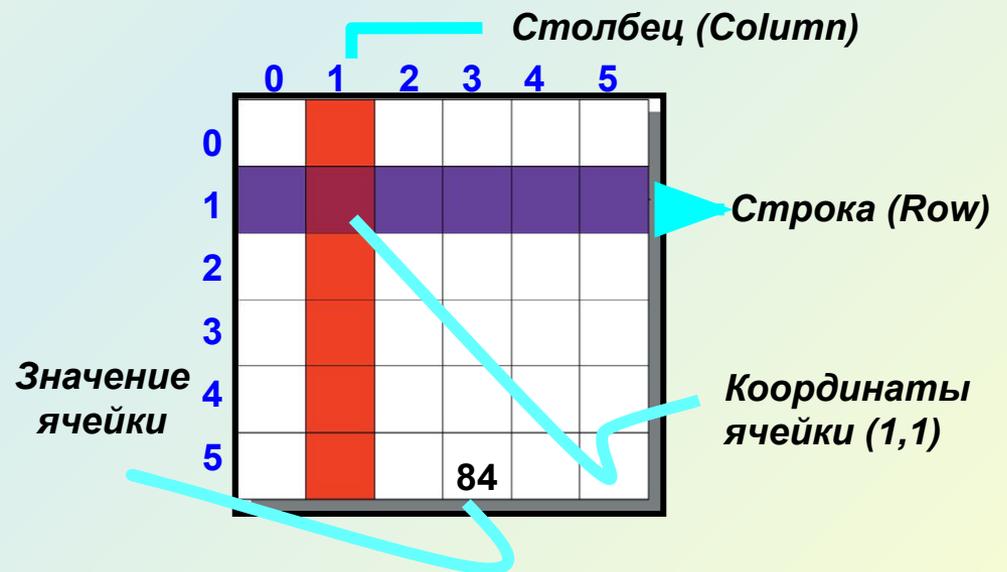
Гриды используют для моделирования поверхностей квадратные регулярные сети.



Значение ячейки относится к ее центральной точке



Представление грид в файловой системе



Структура GRID – моделей полностью соответствует структуре растровых данных



Выбор плотности сети следует производить в соответствии с исходными данными или требуемым масштабом карты.

- Если известен масштаб, в котором надо изобразить карту, то шаг между линиями сетки надо задать равным тому **количеству единиц карты, которые помещаются в 1 мм изображения.**

Например, при масштабе 1:50 000 это 50 м.

- Если требуемый масштаб заранее не известен, то шаг между линиями сетки можно задать равным **половине среднего расстояния между точками данных.**

Surfer	ArcGIS
Inverse Distance ( <i>Обратно взвешенные расстояния</i> )	ОВР
Kriging ( <i>Кригинг</i> )	Кригинг
Minimum Curvature ( <i>Минимальная кривизна</i> )	Сплайн
Polynomial Regression ( <i>Полиномиальная регрессия</i> )	Тренд
Triangulation with Linear Interpolation ( <i>Триангуляция с линейной интерполяцией</i> )	-
Natural Neighbour ( <i>Естественное соседство</i> )	Естественная окрестность
Shepard's Method ( <i>Метод Шепарда</i> )	-
Radial Basis Functions ( <i>Радиальные базисные функции</i> )	-
Moving Average ( <i>Скользящее среднее</i> )	-
-	Топо в растр



# Моделирование дискретных 3D объектов

Моделирование 3D точечных, линейных и полигональных объектов осуществляется с помощью **создания трехмерных векторных наборов данных**, в которых Z-значения встроены в геометрию (поле *Shape*) класса пространственных объектов.

FID	Shape *	OBJECTID	NAME	LAYER
0	Полилиния	1	р.Сюзьва	reki
1	Полилиния	2		reki
2	Полилиния	3		reki
3	Полилиния	4		reki
4	Полилиния	5	р.Волим	reki
5	Полилиния	6	р.Мал.Падун	reki
6	Полилиния	7		reki
7	Полилиния	8		reki



OBJECTID_1 *	Shape *	OBJECTID	NAME	LAYER
1	Полилиния Z	1	р.Сюзьва	reki
2	Полилиния Z	2		reki
3	Полилиния Z	3		reki
4	Полилиния Z	4		reki
5	Полилиния Z	5	р.Волим	reki
6	Полилиния Z	6	р.Мал.Падун	reki
7	Полилиния Z	7		reki

## Способы создания трехмерных векторных данных

### Исходные данные

Таблицы XYZ

2D векторные наборы данных (значение Z каждого объекта в таблице атрибутов)

2D векторные наборы данных и модели поверхностей TIN, grid или Terrain

### Инструменты 3D Analyst

Конвертация < ASCII 3D в класс объектов

3D объекты < Объекты в 3D по атрибуту

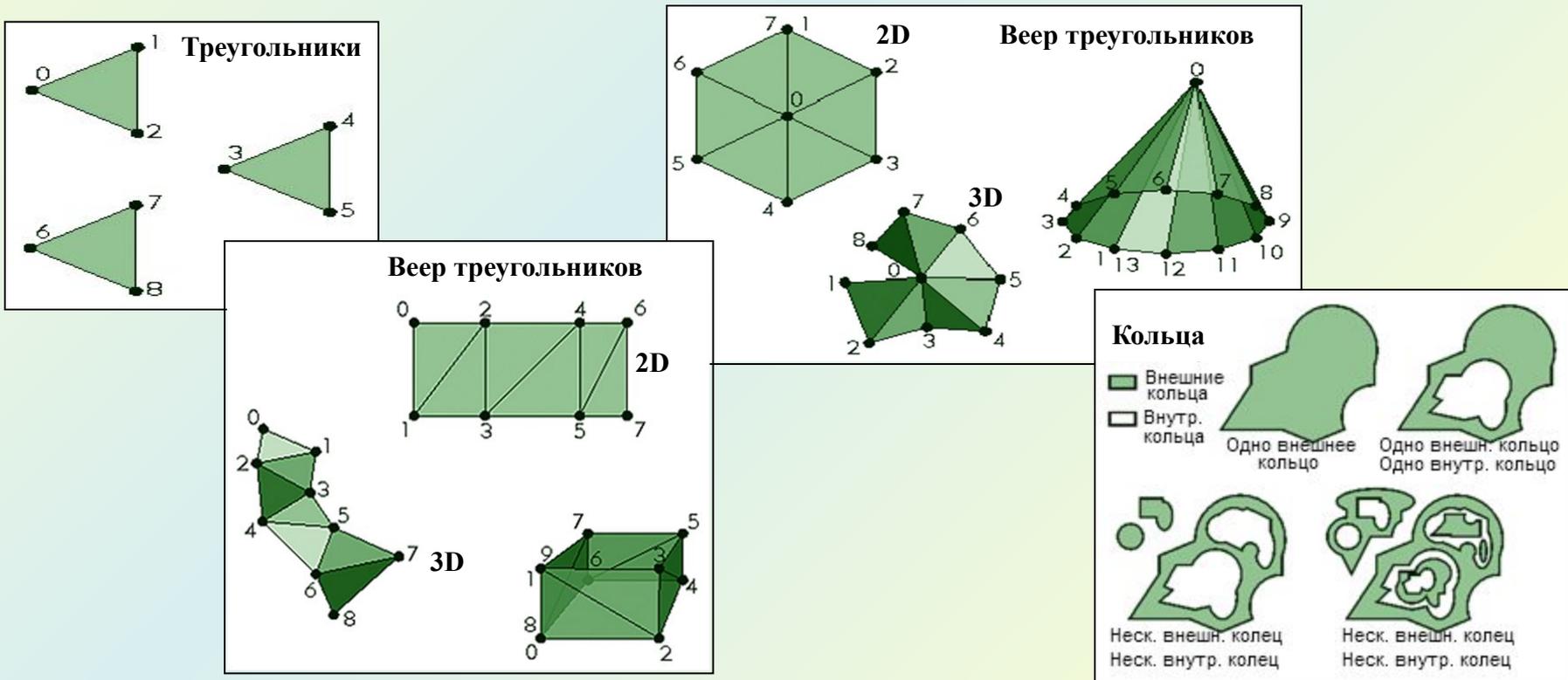
Функциональная поверхность < Интерполировать форму



# Создание каркасных моделей трехмерных объектов

Геоинформационные системы позволяют создавать поверхности объемных моделей среды, или каркасные модели 3D объектов. В отличие от функциональных поверхностей такие модели могут хранить несколько значений z для каждой пары координат x, y. ArcGIS может отображать 3D модели в качестве пространственных объектов в классе объектов - **мультипатчей**.

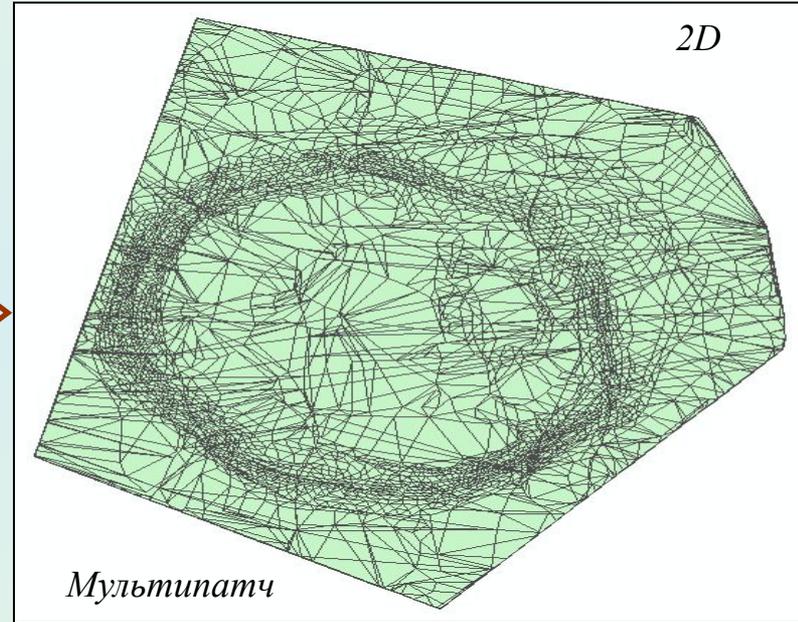
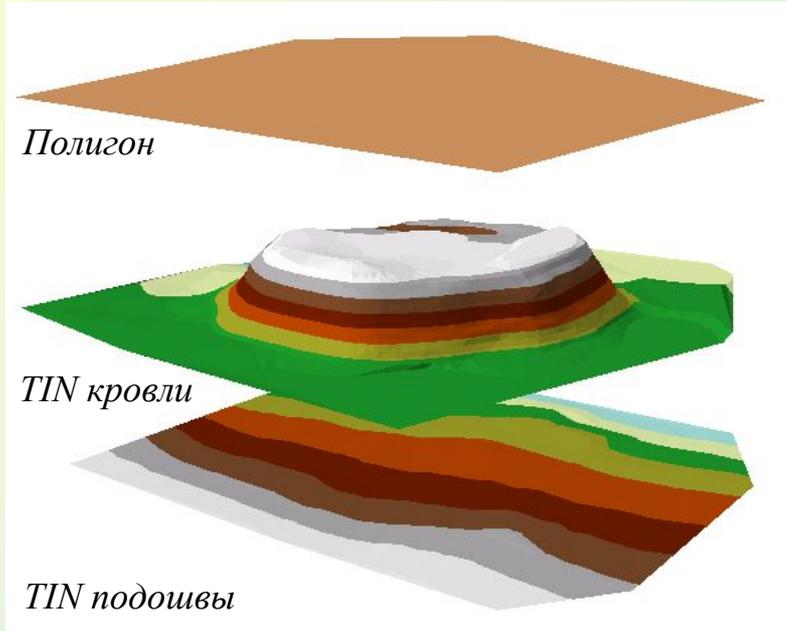
**Мультипатч** – это ГИС объект, в котором хранится коллекция патчей, отображающих границы 3D объекта. Геометрическая информация, которая хранится в патче, может быть в виде треугольников, вееров треугольников, полос треугольников или колец. Мультипатча сохраняются в формате *шейп-файла* или *класса пространственных объектов базы геоданных*.





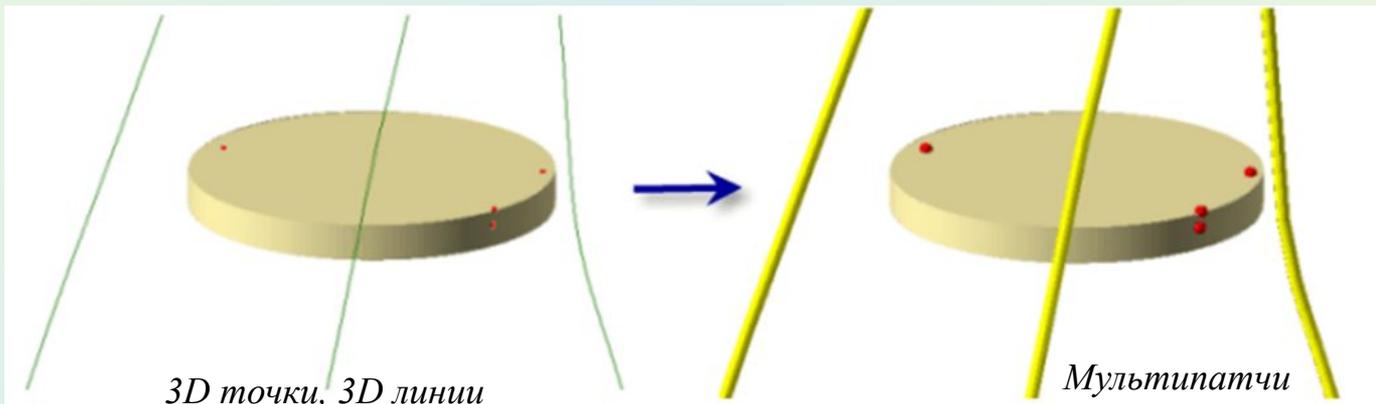
### Создание модели пласта

Инструменты 3D Analyst < Триангуляционная поверхность < Блок-диаграмма



### Построение 3D буферов

Инструменты 3D Analyst < 3D объекты < 3D буфер



Создаются замкнутые объекты - мультипатчи:

- сферы для точек;
- цилиндрические объекты для линий



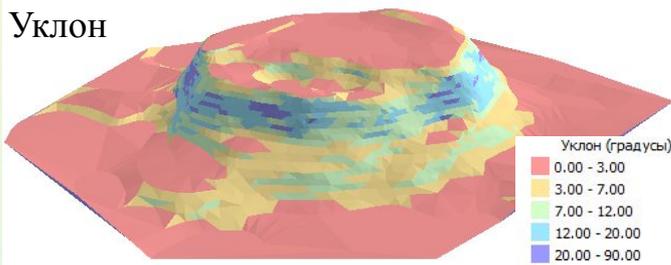
# Анализ морфологии поверхностей

## TIN модель

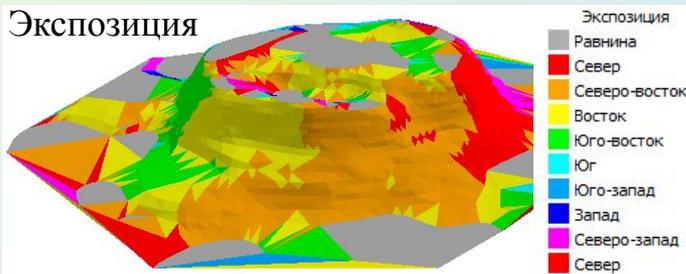
Рельеф



Уклон



Экспозиция

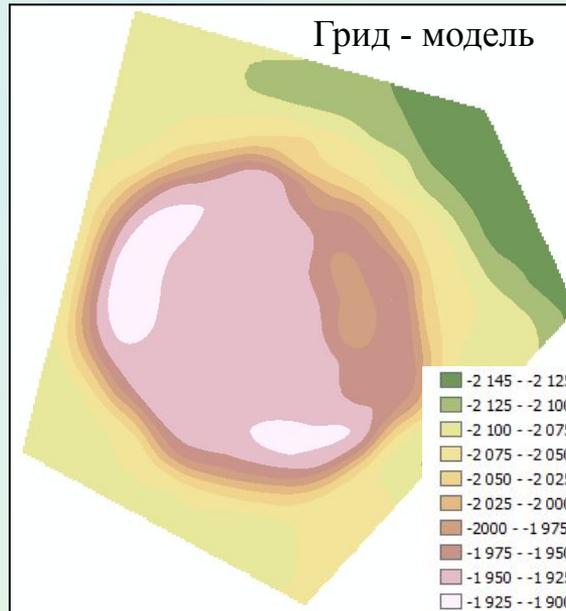


Способы представления

Анализ морфологии триангуляционных и grid моделей поверхностей можно осуществить с помощью инструментов 3D Analyst.

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>Триангулированная поверхность</li> <li>Блок-диаграмма</li> <li><b>Изолинии поверхности</b></li> <li>Интерполировать полигон в мультитач</li> <li>Объем полигона</li> <li>Определить местоположение выбросов</li> <li>Прореживание узлов TIN</li> <li>Разница поверхностей</li> <li>Уклон поверхности</li> <li>Экспозиция поверхности</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Растровая модель поверхности</li> <li><b>Изолинии по значениям</b></li> <li><b>Изолинии с барьерами</b></li> <li><b>Изолиния</b></li> <li>Кривизна</li> <li>Объем насыпей и выемок</li> <li>Отмывка</li> <li><b>Уклон</b></li> <li><b>Экспозиция</b></li> </ul> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Грид - модель



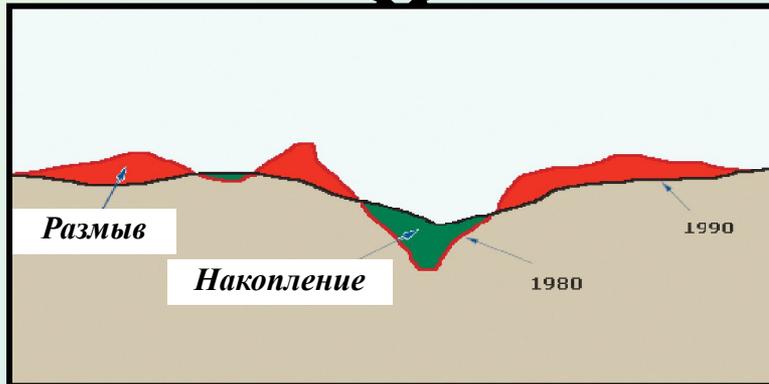
Карта изолиний



# Вычисление изменений площадей и объемов

## GRID модели

Определение площади и объемы изменений между двумя грид моделями поверхностей осуществляется с помощью инструмента **Объем насыпей и выемок**. В результате создается бинарный растр.



## Модели TIN и Terrain

1. Функция **Разница поверхностей** вычисляет площади и объемы изменений между двумя моделями поверхностей. В результате создается векторный слой полигональных объектов.

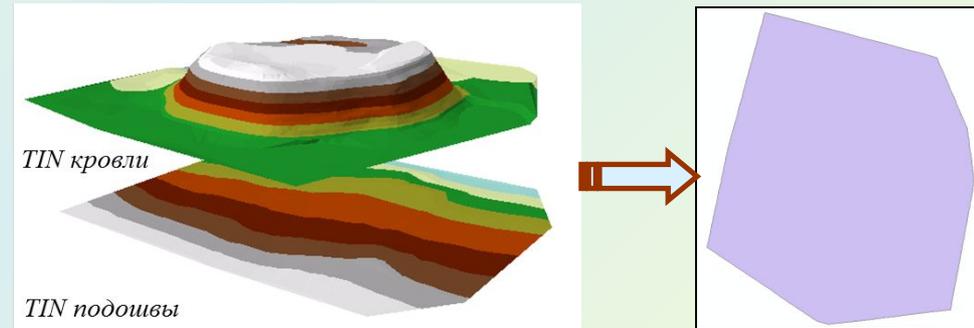


Таблица атрибутов полигонального слоя

	OID *	Shape *	Volume	SArea
▶	1	Полигон	17273938082.972908	36301671.312558
◀				

2. Инструмент **Объем полигона** определяет объем и площадь поверхности между моделью поверхности и полигоном. В таблице атрибутов полигона должно быть поле, определяющее высоту базового плана, используемого при вычислениях объема.

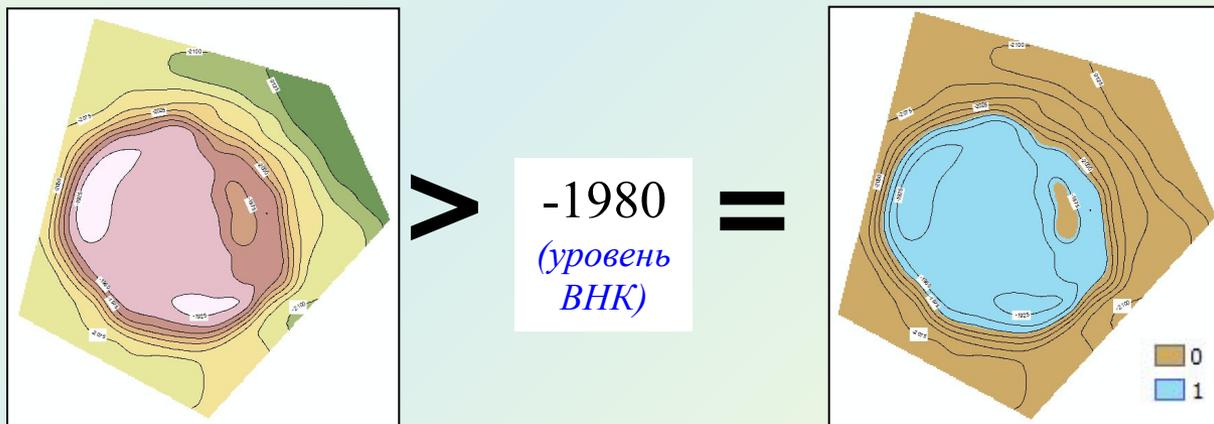


## Операции над грид - моделями

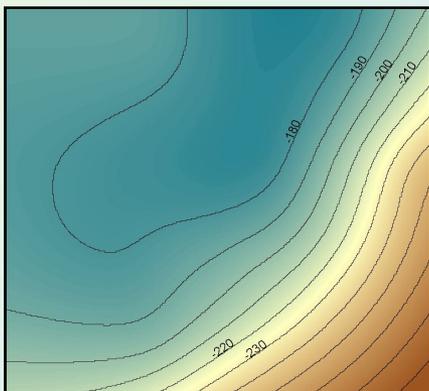
С помощью инструментов дополнительного модуля *Spatial Analyst* можно осуществлять различные операции над грид – моделями поверхностей. Наибольшее применение получил *Растровый калькулятор*.

Инструменты Spatial Analyst < Алгебра карт < Растровый калькулятор

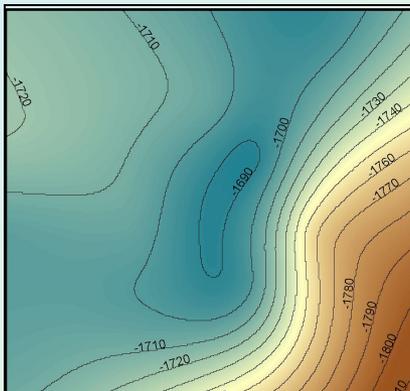
В калькуляторе растров имеетя три группы математических операторов для работы с растрами: арифметические, Булевы и операторы отношений.



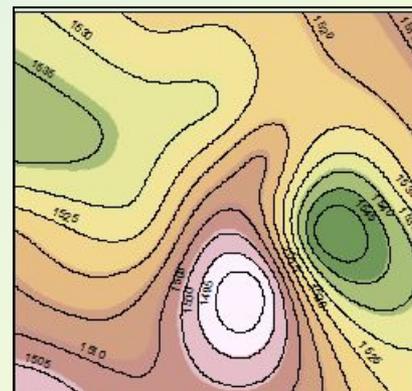
### Палеоструктурный анализ



Кровля  
ассельского яруса



Поверхность фундамента



Поверхность фундамент  
на конец ассельского века



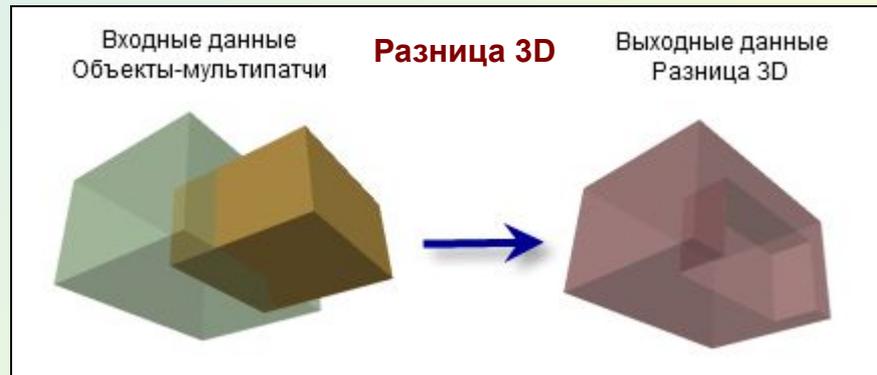
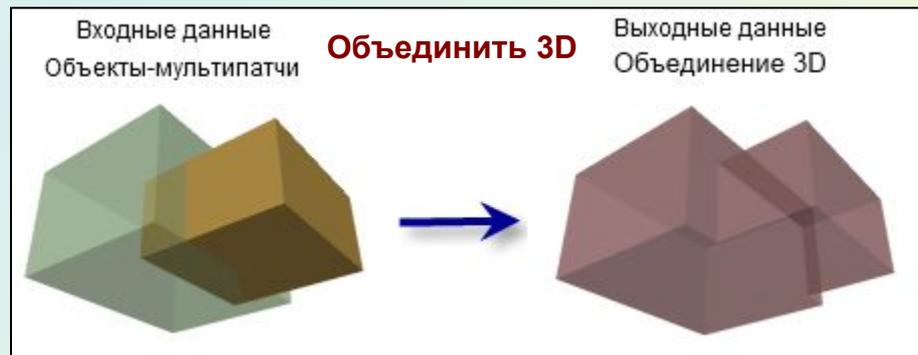
# Операции пересечения 3D объектов

## Инструменты 3D Analyst

- 3D объекты
- Ближайший 3D
- Буфер 3D
- Внутри 3D
- Добавить информацию Z
- Замкнутые 3D
- Замкнуть мультипатч
- Объединить 3D
- Объекты в 3D по атрибуту
- Пересекает 3D линию мультипатчем
- Пересечь 3D
- Разница 3D

Инструменты пересечения 3D объектов позволяют выполнять геометрическое сравнение 3D объектов в ArcGIS. Они могут использоваться для изучения и определения связей между 3D объектами, например, для проверки, находится ли один объект внутри другого. Также, они могут использоваться для вычисления новых объектов на основе входных.

## Операции над мультипатчами

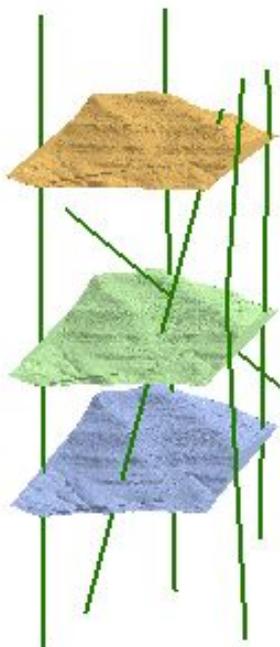




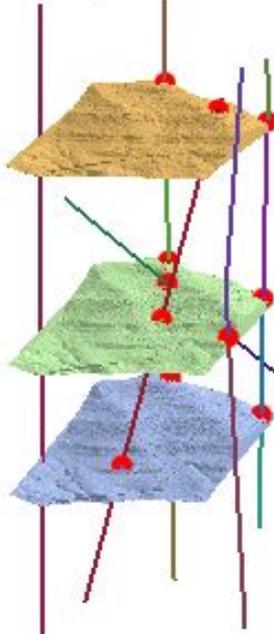
## Определение пересечений 3D линий

Инструменты 3D Analyst < Функциональная поверхность < Пересечь 3D-линию поверхностью

Входные данные  
*TIN, grid модели поверхностей*



Выходные данные  
Пересечение 3D-линий с  
поверхностями

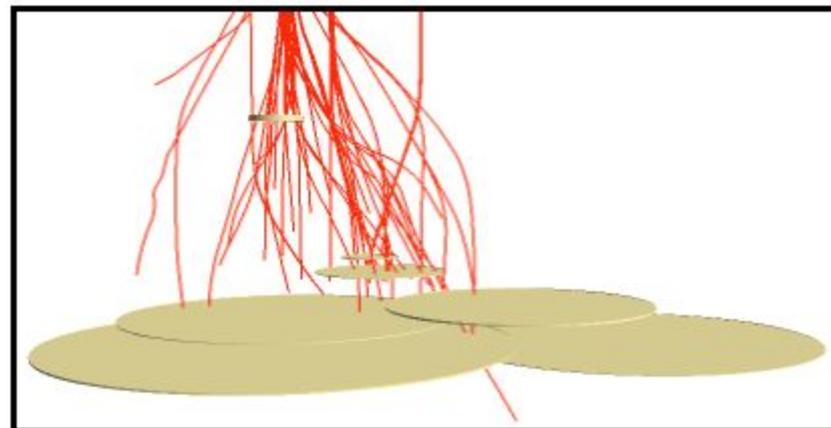


### Выходные данные:

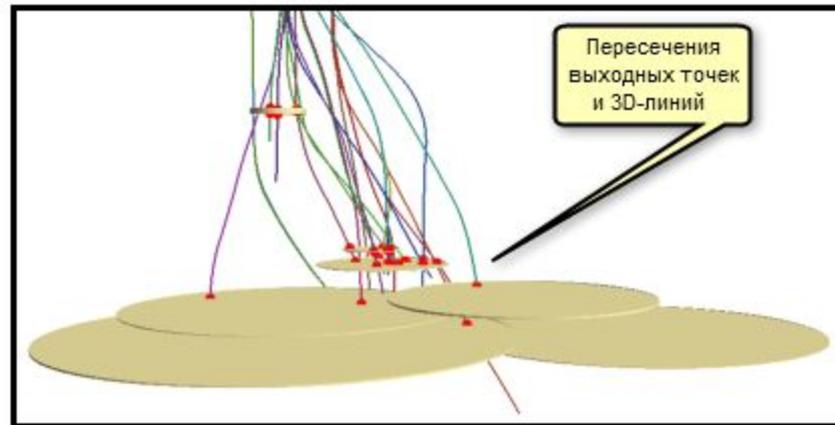
- класс линейных объектов, который содержит копию входных линий, разбитых точками пересечения на участки;
- дополнительный класс точечных объектов, который содержит точки пересечения.

Инструменты 3D Analyst < 3D объекты < Пересекает 3D линию мультипатчем

Входные данные  
Объекты-мультипатчи, 3D-линии



Выходные данные  
Пересечение 3D-линий и объектов-мультипатчей





Инструмент **3D объекты < Ближайший 3D** вычисляет 3D расстояния между объектами, представленными 2 группами наборов входных данных:

- *входные объекты*;
- *ближайшие объекты*, которые могут состоять из одного или нескольких классов пространственных объектов разных типов геометрии.

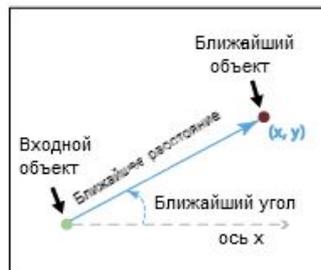
И входные, и ближайшие пространственные объекты могут быть 3D точками, 3D линиями или 3D полигонами.

В результате в таблицу атрибутов входных объектов будут добавлены два поля :

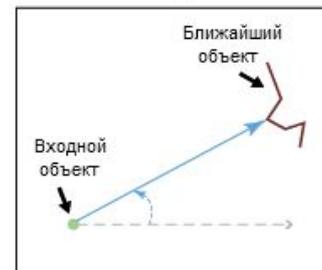
**NEAR\_FID** - идентификатор ближайшего объекта.

**NEAR\_DIST** - расстояние от входного до ближайшего объекта.

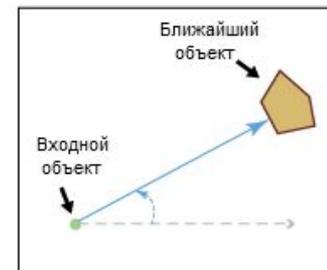
От точки до точки



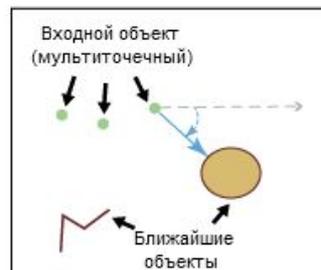
От точки до линии



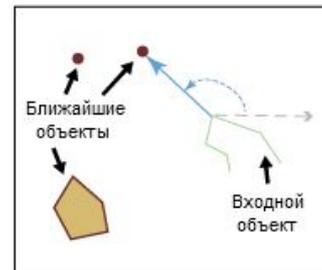
От точки до полигона



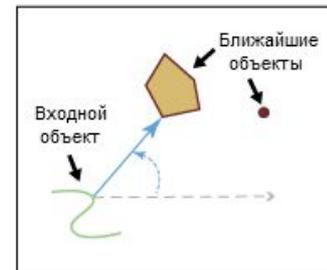
Смешанные типы объектов



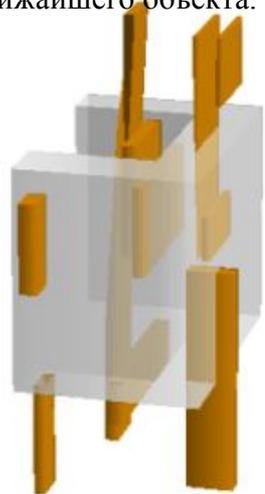
Смешанные типы объектов



Смешанные типы объектов

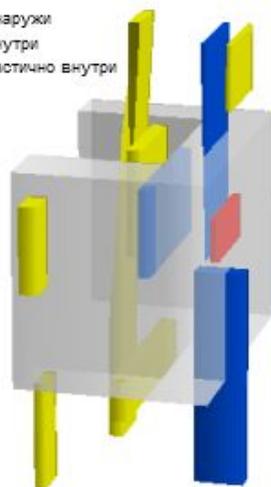


ближайшего объекта.



**Status**

- Снаружи
- Внутри
- Частично внутри



Инструмент **3D объекты < Внутри 3D** определяет, какие объекты находятся внутри замкнутого объекта - мультипатча.

- *Входные объекты*: мультипатчи или 3D классы пространственных объектов (точки, линии, полигоны).
- *Входные пространственные объекты – мультипатчи*: замкнутые мультипатчи.

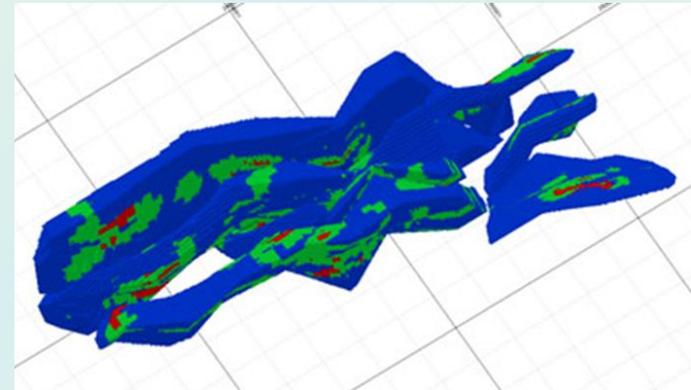
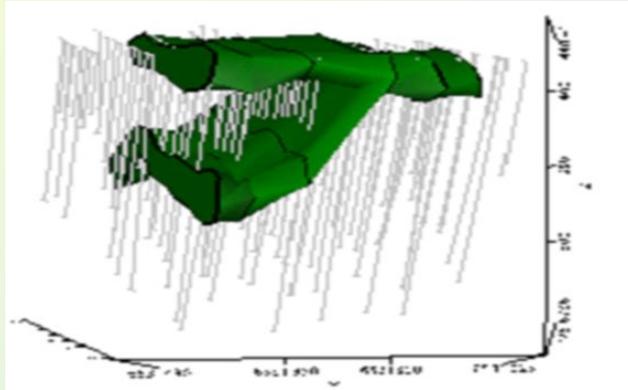
**Выходные данные**: таблица, содержащая список входных 3D объектов, для которых в поле **Status** указано положение объектов относительно мультипатча.



## Подсчет запасов в ArcGIS

Технология создания 3D моделей целевых геологических объектов включает 2 этапа:

1. каркасное моделирование;
2. блочное моделирование.



В геоинформационной системе ArcGIS реализована возможность построения **только !!! каркасных моделей** геологических объектов. Поэтому подсчет запасов полезных ископаемых в рамках геоинформационной системы ArcGIS возможен в 2 вариантах.

- Вычисление **объема** геологического объекта и подсчет запасов в предположении *однородности* тела.
- Использование **2D объемных методов** подсчета запасов, сущность которых заключается в разбиении объекта на довольно большие участки, характеризующиеся постоянной мощностью и однородными свойствами.



# ПОДСЧЕТ ЗАПАСОВ НЕФТИ ОБЪЕМНЫМ МЕТОДОМ

## Постановка задачи

Начальные геологические запасы нефти в залежи при стандартных условиях :

$$Q_{но} = F \cdot h_{эфф} \cdot K_n \cdot K_n \cdot b \cdot p_n ,$$

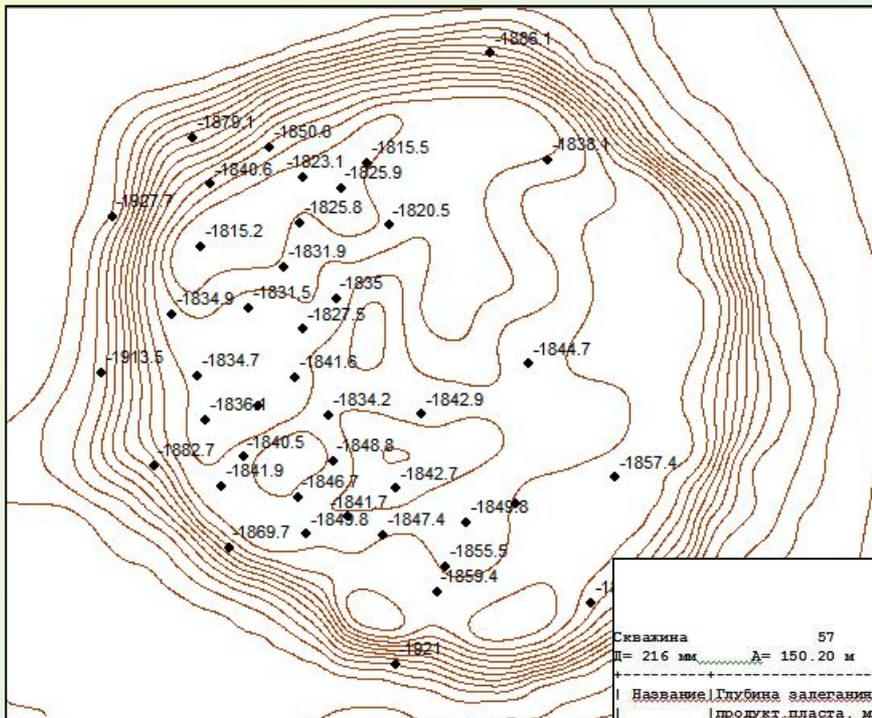
где  $F$  - площадь залежи;  $h_{эфф}$  - эффективная нефтенасыщенная толщина;  $K_n$  - коэффициент открытой пористости;  $K_n$  - коэффициент нефтенасыщенности;  $b$  - пересчетный коэффициент, учитывающий усадку нефти,  $p_n$  - плотность нефти в поверхностных условиях.

$$h_{эфф} = \frac{h_1 f_1 + h_2 f_2 + \dots + h_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} ,$$

где  $f_1, f_2, \dots, f_n$  - площади отдельных участков пласта, ограниченных соседними изопакитами;  $h_1, h_2, h_n$  - средние изопакиты, соответствующие указанным участкам и определяемые как средние величины между двумя соседними изопакитами.



## Исходные данные



Результаты структурной интерпретации детальных площадных сейсморазведочных работ МОГТ

*Геолого-промысловые данные и материалы каротажа скважин*

Сведения по интерпретации пластов – коллекторов

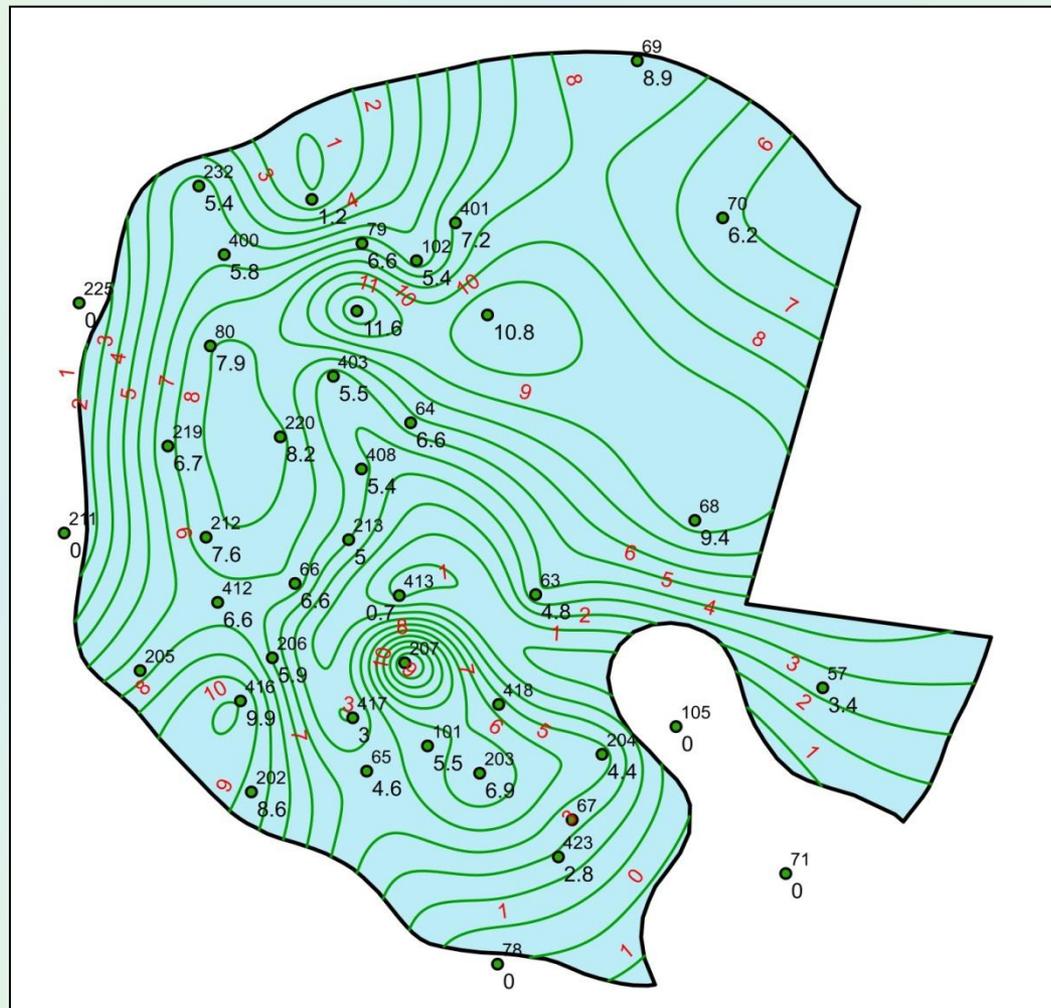
Скважина 57  
 Д = 216 мм А = 150.20 м

Название пласта	Глубина залегания продукта пласта, м		Толщина пласта, м	Погр. крик.	Погр. крик.	Интервал проицаемого прося, м		Толщина эффективная, м			Исходные и расчетные																		
	Абсолютн. отметка кровля	Абсолютн. отметка подошва				про-слой, м	на про-слой, м	общая	Н и НВ	Эфф. насадки	Рнд, Ом м	ДИГ	Кп, %	Кн, %															
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16														
Тл	1991.6	1999.4	7.8	2.4	2.4	2010.0	2013.4	-1857.4	-1860.8	3.4	3.4	3.4	Н	174.3	0.15	16.7	91.1												
	-1839.0	-1846.8																											
Б6	2005.0	2014.0	9.0	2.4	2.4	2018.2	2019.2	-1865.6	-1866.6	1.0	4.6	4.6	Н	120.0	0.13	18.8	93.0												
	-1852.4	-1861.4																											
	2024.6	2025.8																1.2	2.4	2022.8	2024.0	-1870.2	-1871.4	1.2	Н	325.3	0.17	10.8	38.3
	-1864.4	-1875.6																											
2027.0	2028.2	1.2	2.4	2027.0	2028.2	-1874.4	-1875.6	1.2	Н	76.5	0.24	16.7	91.1																
-1877.6	-																												
Т-Фм	2030.2	-	-	2.4	2.4	2046.2	2047.2	-1893.6	-1894.6	1.0	>8.2	2.2	Н	104.3	0.05	7.7	67.1												
	-1877.6	-																											
	2050.0	2050.6																0.6	2.4	2050.0	2050.6	-1897.4	-1898.0	0.6	Н	-	-	-	-
2057.8	2058.4	0.6	2.4	2057.8	2058.4	-1905.2	-1905.8	0.6	Н	-	-	-																	



# 1. Расчет грид-модели распределения эффективных нефтенасыщенных толщин и построение карты изопакит

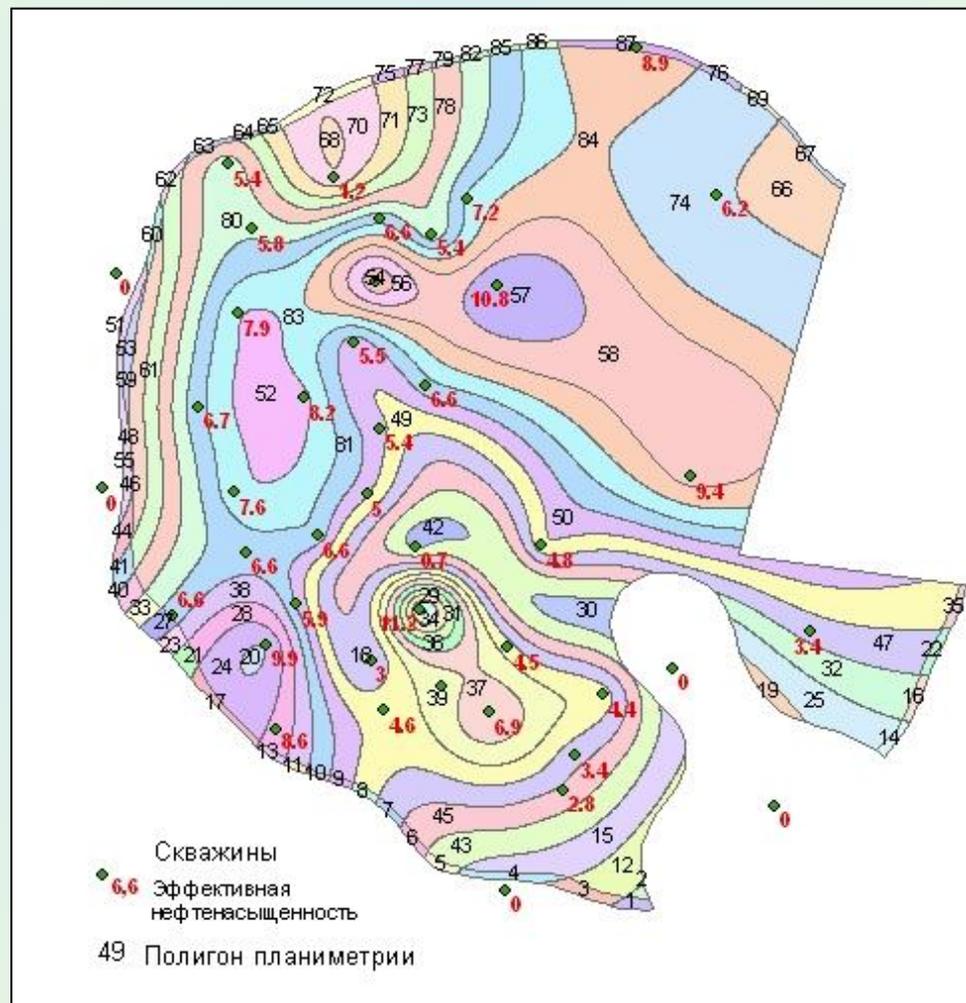
- Инструменты Spatial Analyst
  - Алгебра карт
  - Генерализация
  - Гидрология
  - Грунтовые воды
  - Зональные
  - Извлечение
  - Интерполяция
    - Естественная окрестность
    - Кригинг
    - ОВР
    - Слайн
    - Слайн с барьерами
    - Топо в растр**
    - Топо в растр по параметрам
    - Тренд
  - Локальные
  - Математические
  - Многомерность
  - Наложение
  - Окрестность
  - Переклассификация
  - Плотность
  - Поверхность
    - Видимость
    - Изолинии по значениям
    - Изолинии с барьерами
    - Изолиния**
    - Кривизна
    - Объем насыпей и выемок
    - Отмывка
    - Точки наблюдения
    - Уклон
    - Экспозиция





## 2. Выделение отдельных участков планиметрии

- Управление данными (Data Management Tools)
  - Автономное редактирование
  - Базы данных
  - Версии
  - Генерализация
  - Домены
  - Индексы
  - Классы объектов
  - Классы отношений
  - Общие
  - Подтипы
  - Поля
  - Проекция и преобразования
  - Пространственные объекты
    - Вершины объекта в точки
    - Внешняя граница (Envelope) в полигон
    - Восстановить геометрию
    - Добавить поля X,Y
    - Копировать объекты
    - Корректировать Z значения
    - Объект в линию**
    - Объект в полигон**
    - Объект в точку
    - Полигон в линию
    - Проверить геометрию
    - Разбить линию на вершинах
    - Составной в простые
    - Удалить объекты





### 3. Вычисление средних нефтенасыщенных толщин в пределах каждого участка планиметрии

Анализ (Analysis Tools)

- Близость
- Извлечение
- Наложение (Overlay)
  - Идентичность (Identity)
  - Обновление (Update)
  - Объединение (Union)
  - Пересечение (Intersect)
  - Пространственное соединение (Spatial Join)**
  - Симметричная разность (Symmetrical Difference)
  - Стирание (Erase)
- Статистика

Пространственное соединение

Целевые объекты: Pole\_kat

Присоединяемые объекты: Skv\_Tl2a

Выходной класс объектов: D:\Учебные занятия\НИПИ\Project1\ANALYSIS\pole\_kat\_skv.shp

Операции соединения (дополнительно): JOIN\_ONE\_TO\_MANY

Атрибуты Plan\_skv\_sum

Minimum	Maximu	Plan_skv_sum.sred	Plan_skv_sum.obem_nef	Minimum	Maximum_CONTOUR
0	0	2	341.2568	2	2
0	0	2	924.5356	2	2
0	0	1	1290.5052	1	1
0	0	1	5447.9825	1	1
11.2	11.2	11.1	7616.60244	11	11
0	0	3	7664.8419	3	3
0	0	2.5	10002.606	2	3
0	0	0.5	12074.88375	1	0
0	0	1	12148.2478	1	1
0	0	3.5	12829.2031	3	4
0	0	0.5	13068.0811	0	1
0	0	1.5	14164.8075	1	2
0	0	2.5	22651.22925	2	3
0	0	2	22966.128	2	2
0	0	4.5	23071.35105	4	5
0.7	0.7	0.6	23237.26956	1	1
0	0	2.5	23428.015	2	3
0	0	3.5	24389.17075	3	4
0	0	6.7	26616.84076	6	7
0	0	5.5	26719.32615	5	6

Запись: 1 Показать: Все Выбранные записи (0 из 87 Выбранные) Опции



## 4. Подсчет суммарных запасов углеводородов

**Атрибуты Zapas**

OID	Id	Cnt_Id	Ave_plosha	First_TIP	CONTOU
0	1	1	12148.2478	Neft+voda	1
1	2	1	5447.9825	Neft	1
2	3	1	24149.7675	Neft+voda	0
3	4	1	26136.1622	Neft+voda	1
4	5	1	9443.205	Neft+voda	2
5	6	1	9371.206	Neft+voda	3
6	7	1	8230.0461	Neft+voda	4
7	8	1	8144.9195	Neft+voda	5

Сортировать по возрастанию  
Сортировать по убыванию  
Расширенная сортировка...  
Суммировать...  
Статистика...

**Атрибуты Zapas1**

OID	First_TIP	Cnt_First_	Sum_Ave_pl	Sum_obem_n	plotn	Kpor	Kneft	Kperes	Zapasy
0	Neft	45	14260688.7099	83208242.4976	0.85	0.16	0.9	0.887	9033819.03807
1	Neft+voda	42	547106.1063	2299572.7148	0.85	0.16	0.9	0.887	249661.850159

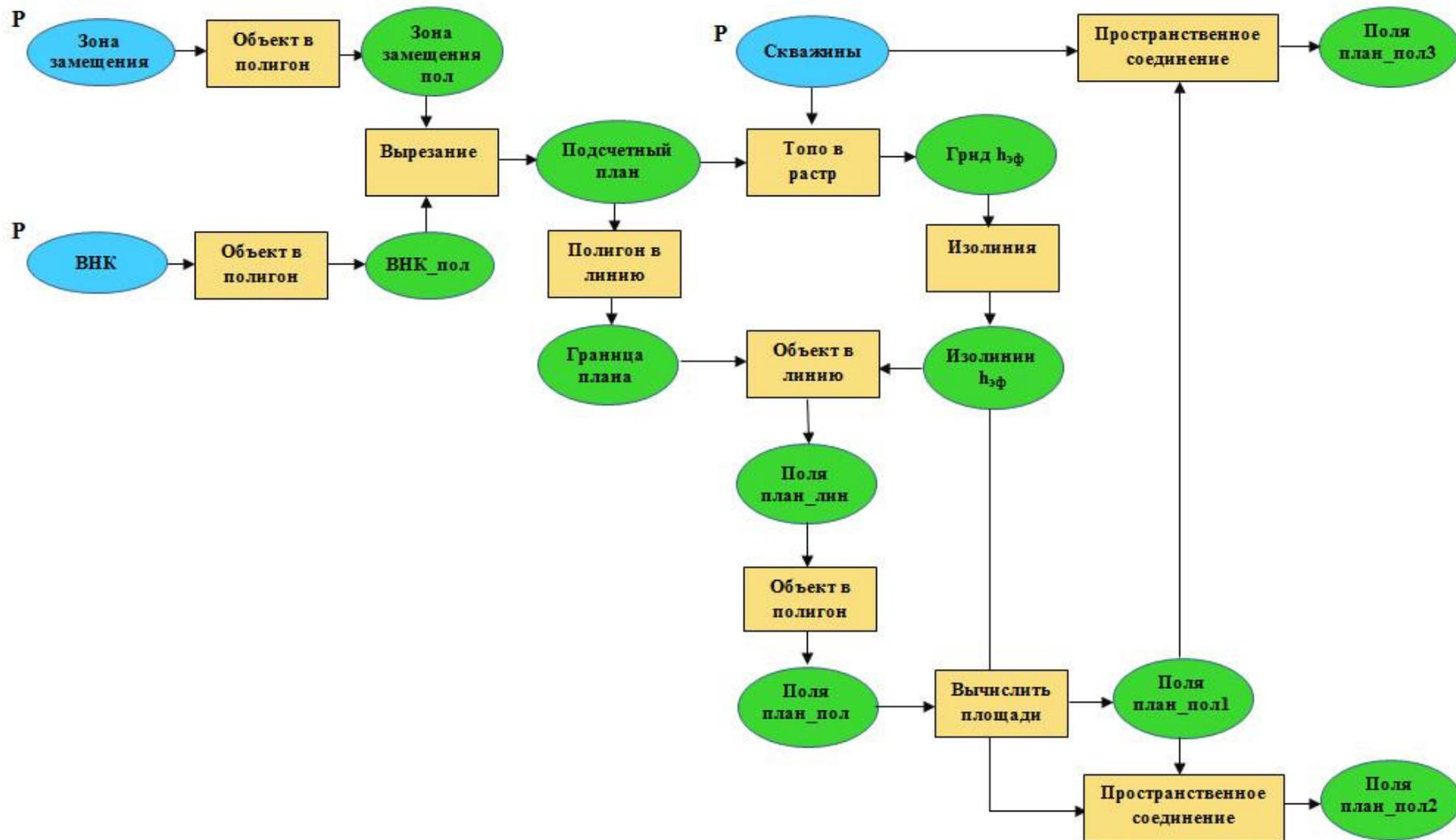
Запись: 1 Показать: Все Выбранные записи (0 из 2 Выбранные) Опции

18	19	1	27811.6926	Neft					1
19	20	1	15853.3119	Neft					10
20	21	1	15531.2162	Neft+voda					9
21	22	1	13872.0914	Neft+voda	0	0	3		4
22	23	1	15820.5365	Neft+voda	0	0	7		8
23	24	1	179508.0552	Neft	9.9	9.9	9		10
24	25	1	183806.2508	Neft	0	0	1		2
25	26	1	686.1804	Neft	11.2	11.2	11		11
26	27	1	19158.6199	Neft+voda	0	0	6		7
27	28	1	134980.9529	Neft	8.6	8.6	8		9
28	29	1	13383.5422	Neft	0	0	10		11
29	30	1	65899.173	Neft	0	0	1		1
30	31	1	22249.5986	Neft	0	0	9		10

Свойства...



# Модель обработки





В полной мере технология 3D моделирования геологических объектов реализована в

- ***пакетах геологического моделирования залежей углеводородов:***

**Petrel, IRAP RMS, Gocad;**

- ***горно-геологических системах:*** Geoblock, Geostat, Datamine, **Micromine**, microLYNX, Minescape, **Surpac**, Vulcan и др..