

## **Пространственный анализ с использованием непрерывных полей**

Парадигма непрерывных полей обеспечивает богатую основу для пространственного моделирования, особенно когда данные представлены в регулярном квадратном растре (сетке). Методы алгебры карт позволяют легко выполнять математические операции на всех растровых слоях также, так как каждый оверлей имеет отдельный номер и это облегчает запись числовых моделей.

Математические операции на непрерывных полях могут быть разделены на операции для отдельного элемента и пространственные операции. Операции для точки те же самые, какие обсуждались для атрибутов; пространственные операции включают пространственную фильтрацию, вычисление поверхностных производных (наклон, ориентация, выпуклость), поверхностная топология и дренажные сети, пространственная смежность, линейное и нелинейное определение близости и свойства целых поверхностей типа представления вида, теневой нагрузки рельефа и др.

Как уже было сказано раньше, есть два главных пути представления непрерывных полей. Первый - триангуляция (TIN); второй - обычная высотная матрица или сетка, используемая в растровых ГИС и анализе изображения.

Моделирование на основе конечных элементов, обычно не является частью стандартного универсального набора инструментов большинства ГИС. Моделирование производится в отдельных программных модулях и затем конвертируются в ГИС в виде квадратных сеток или контурных линий для отображения.

В этой лекции мы рассмотрим операции для пространственного анализа непрерывных полей, которые представлены правильными сетками, где каждый атрибут представлен отдельным слоем, и каждая ячейка принимает скалярное значение. Обратите внимание, что хотя в многих примерах мы будем обращаться к высотной матрице, атрибут  $z$  может представлять любой другой атрибут (уровень загрязняющих веществ в почве, атмосферное давление и т.д.).

### **Основные операции для пространственного анализа для дискретизированных непрерывных полей**

#### **Алгебра карт и картографическое моделирование**

Главное преимущество растрового представления, в котором каждый атрибут зарегистрирован в отдельном слое, состоит в том, что любая математическая операция, выполненная на одном или более атрибутах одной ячейки, может легко применяться ко всем ячейкам в слое. Это означает, что одно и то же алгебраическое выражение работает на множестве данных, как на отдельных числах. Метод называется, алгебра

карты, а процедура использования алгебраических методов, чтобы формировать модели для пространственного анализа называется картографическим моделированием.

Методы алгебры карты подразумевают, что пользователь должен только определить пространственные операции, которые нужно использовать и названия исходных слоев, а результат - компьютерная программа применяет операцию ко всем ячейкам в указанных слоях. Это делает очень простым запись компьютерных моделей как последовательности вычислений, и расширяет модель точки к двумерному пространству. Например, команда:

$$\text{NEWMAP} = \text{MAP1} + \text{MAP2} + \text{MAP3}$$

это все, что необходимо, чтобы вычислить сумму значений атрибутов на этих трех слоях с именами MAP1, MAP2 и MAP3.

Команда:

$$\text{NEWMAP} = (\text{MAP1} + \text{MAP2} + \text{MAP3})/3$$

вычисляет среднее значение.

Все эти примеры вычисляют новые значения по принципу ячейка за ячейкой: они известны как операции точки и формально эквивалентны тем же самым математическим операциям, которые применялись к атрибутам векторных объектов. Дополнительные преимущества здесь - то, что используя концепции дифференцирования поверхности и сглаживая, возможно вычислить атрибуты которые являются некоторой пространственной функцией области, окружающей данную ячейку. Как далее мы увидим в этой лекции, есть много полезных функций окрестности, которые могут использоваться для пространственного анализа. Наконец, так как подход на основе сетки есть аппроксимация непрерывной поверхности, можно определять новые атрибуты, такие как вид через поверхность, или извлекать топологию самых крутых путей спуска по поверхности. Эти операции обеспечивают богатый инструментарий для изучения таких явлений, как видимость в пересеченной местности, гидрологические процессы или для оптимизации доступа к специфическим участкам территории.

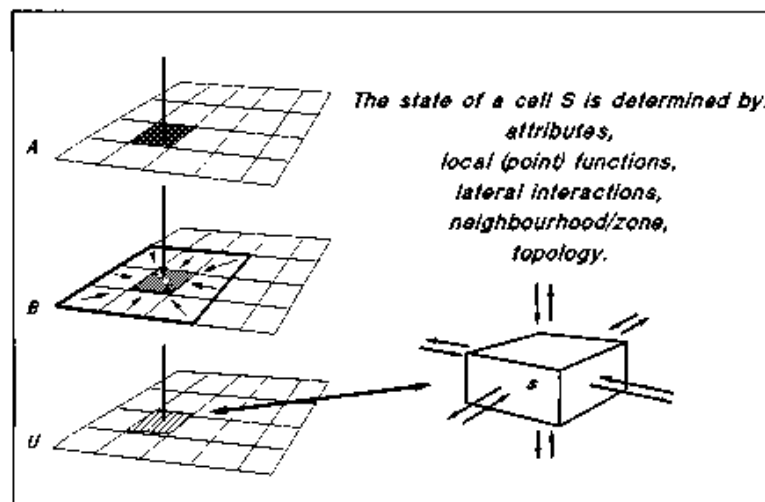


Рис. 8.1. Состояние ячейки - функция локальных операций и боковых взаимодействий с ее соседями

Из предшествующего мы знаем, что если языковой командный интерфейс позволяет пользователю выражать основные пространственные функции на математическом языке, то просто записывать математические модели, чтобы работать и на сеточных данных. Многие ГИС обеспечивают простой макроязык для этой цели.

### Операции с точкой

Все логические и числовые операции для векторной точки, линии или полигона могут использоваться для индивидуальных ячейках сетки дискретизированных непрерывных полей. Это означает, что значения для одной и той же ячейки сетки в различных слоях могут быть логически выбраны, добавлены, вычтены или управляться любым математическим методом, который разрешается для типа данных (Рис. 8.1 и 8.2). Поэтому можно записывать команды, которые могут складывать или вычитать вещественные числа. Логические или номинальные данные могут использовать логические командами.

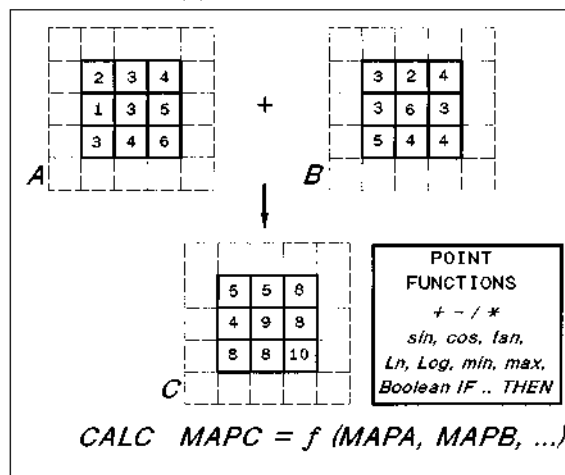


Рис. 8.2. Примеры операций с ячейкой

### Пространственные операции

Использование сеточных данных имеет преимущества и недостатки по сравнению с топологически связанной векторной базой данных объектов. Недостатки заключаются в проблеме, что точные формы объектов лишь аппроксимированы ячейками сетки, и что прямые операции по сети, не могут быть выполнены без предварительного получения топологии свойств поверхности. Преимущества состоят в том, что непрерывная модель обеспечивает намного более богатый набор истинно пространственных операций анализа, которые имеют много практических применений.

Следующие операции вычисляют новые атрибуты для данной ячейки как некоторые функции атрибутов ячейки в пределах некоторой пространственной окрестности. Окрестность - часто, но не всегда является изометрической, (то есть квадрат или круг).

В большинстве случаев в ГИС размер ячейки установлен и одинаков по всей области интереса. Принятие сеток переменной плотности потребовало бы модификации алгоритмов, но было бы несущественно изменять характер выполняемых операций. Эти пространственные операции включают:

- Интерполяцию
- Пространственную фильтрацию
- Производные разного порядка
- Образование топологии поверхностной: сети дренажа и план водосбора
- Оценка смежности
- Нелинейное расширение (движение с трением)
- Вид поверхности, рельеф с тенями и интенсивность падающего освещения.

### **Интерполяция**

Интерполяция - предсказание значения атрибута  $z$  в неизвестном месте ( $x_0$ ), зная измерения, сделанные в других местах  $x_i$ . Интерполяция используется, чтобы создавать дискретизированные непрерывные поверхности, имея данные в редко расположенных точках или для трансформации сетки к другой плотности или ориентации (как в изображениях дистанционного зондирования).

Интерполяцию можно быть считать как специфический класс пространственной фильтрации, где входные данные не обязательно расположены на непрерывной сетке. Все другие методы, которые будут рассмотрены, предполагают, что сетка уже была создана.

### **Пространственный анализ, использующий квадратные окна**

## Пространственная фильтрация

Самый простой и возможно наиболее широко используемый метод пространственной фильтрации непрерывной поверхности включает прохождение квадратного окна (известное как ядро или фильтр) по поверхности и вычисление нового значения центральной ячейки окна; как функции значений ячеек, закрытых окном. Этот вид операции также обычно известен как конволюция.

Окно имеет обычно размер 3x3 ячейки, но возможен любой другой вид квадратного окна (5x5, 7x7). Часто используемые операции окна - фильтры низкого и высокого прохода (low-pass и high-pass).

**Сглаживание (low-pass фильтр).** Значение центральной ячейки окна вычисляется как простое среднее арифметическое число значений других ячеек (Рис. 8.3). В системах, использующих вещественные числа, среднее может быть вычислено как вещественное число с десятичным компонентом, но во многих системах дистанционного зондирования, и ввод и вывод кодируется целыми числами, так что десятичная часть теряется.

В системах дистанционного зондирования и анализе изображений, средние значения вычисляются умножением значений ячеек в окне на их вес в фильтре. Например, для квадрата 3\*3, среднее значение для центра окна может быть вычислено, умножая каждое значение ячейки на 1/9 и суммируя все результаты. Для окна 5x5, вес каждой ячейки - 1/25. Дополнительные веса можно давать центральной ячейке, представляя веса, которые являются нелинейными, то есть ячейки, самые близкие к центральной ячейке имеют большие веса чем дальние.

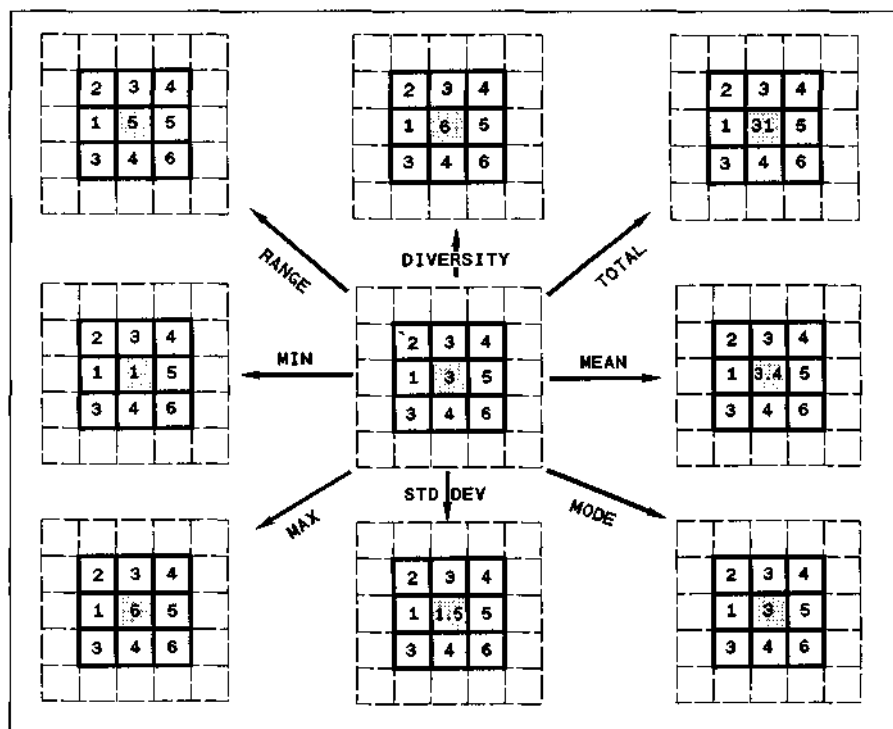


Рис. 7.5. Варианты статистических расчетов в окне.

Low-pass фильтр имеет эффект удаления крайних значений из данных, создание сглаженного изображения. Для номинальных и порядковых данных (также целых чисел) среднее может быть заменено модой, которая является наиболее частым значением (большинство). При использовании модального фильтра на номинальных данных (например, типы почв) можно упростить сложную карту.

Подобным способом можно рассчитать локальный максимум или минимум и их разницу, и ряд других параметров (Рис. 7.5). Для номинальных и порядковых данных полезно оценить меньшинство (наименее общее) и разнообразие (число различных значений в окне) для индикации локальной сложности пространственного образца.

**High-pass и краевой фильтры.** Инверсия low-pass фильтра - фильтр, который увеличивает диапазон изменений пространственных свойств поверхности, подчеркивая области быстрого изменения или сложности: High-pass = оригинальная поверхность - low-pass фильтр.

Качества high-pass фильтра зависит от того, как определен low-pass фильтр. Здесь также используются специфические наборы весов для окна.

Краевые фильтры используются для определения областей максимального изменения. Извлечение острых граней и Выявление острых граней и наборов граничных пикселей часто используется для обнаружения дискретных пространственных объектов в изображении, которые, в конечном счете, могут быть векторизованы.

### Производные непрерывной поверхности

Поскольку сеточная поверхность, как предполагается, является математически непрерывной, это делает возможным получить математические производные в любом местоположении. На практике, поскольку поверхность была дискретизирована, производные аппроксимированы вычислением разности в пределах квадратного окна или подбором полинома к данным в пределах окна.

Две производные первого порядка вычисляют наклон и аспект (ориентация) поверхности; две производные второго порядка - выпуклость профиля и выпуклость поверхности. Наклон определяется как тангенс исследуемой поверхности к поверхности горизонтальной. В цифровой модели рельефа (DEM) в любом данном пункте можно оценить: градиент - максимальный уровень изменения высоты и аспект - направление по компасу этого максимального изменения.

Градиент и аспект информативны для многих целей в анализе гипсометрии, но для геоморфологического анализа полезны производные, второго порядка - уровень изменения наклона, выражающий выпуклости в плане и профиле, а также вогнутость. Градиент обычно измеряется в процентах, аспект - в градусах (румбах), выпуклость и вогнутость - в градусах на единицу расстояния (например, на 100 м).

### **Использование направленных фильтров (directional filters), чтобы оценить наклон и аспект**

Производные гипсометрической кривой обычно вычисляются локально для каждой ячейки по высотной матрице в окне 3\*3, которое последовательно перемещено по поверхности карты. Самая простая оценка конечных разностей градиента в направлении X и Y – есть максимальный градиент убывания).

Эта оценочная функция имеет недостаток - локальные ошибки в высоте территории порождают большие ошибки в уклоне. Лучше использовать метод конечных разностей второго порядка, привязанных к 4 ближайшим соседям в окне.

Выпуклость и вогнутость вычисляются из квадратного уравнения с шестью параметрами.

Альтернативные методы расчета уклона и аспекта - множественная регрессия для девяти точек в окне 3\*3.

Учитывая разнообразие методов, доступных для вычисления уклона и аспекта, для каждой поверхности надо подобрать лучший. Существует достаточно работ, в которых приводятся результаты тестов алгоритмов.

**Отображении уклона и экспозиции на карте.** После того, как соответствующая производная была рассчитана для каждой ячейки в высотной матрице, результаты надо классифицировать, чтобы ясно отобразить их на карте. Обычно это достигается посредством поисковой таблицы, в которой определены соответствующие классы и их цветовое или тоновое представление. Для визуального анализа тематических карт, наклон и экспозиция, в виде фона карты, очень эффективны.

Карты экспозиции отображаются девятью классами (по главным румбам компаса) и один для плоского ландшафта. Используется непрерывная, круговая серая шкала, которая выбрана так, чтобы северо-восточные поверхности были самые светлые: это дает реалистическое впечатление от трехмерной поверхности.

Уклон часто изменяется очень сильно по различным регионам, лучшие карты получаются после калибровки границ класса по средней величине и стандартному отклонению. Шесть классов обычно дают очень удовлетворительные результаты.

Уклон и экспозиция могут также быть получены из TIN поверхностей, вычисляя уклон или аспект для каждой треугольной грани отдельно и затем оттеняя ее согласно классу градиента.

### Получение поверхностной топологии и дренажных сетей

Прежде, чем дренажные бассейны и сети анализировать количественно, данные должны быть скопированы либо с аэрофотоснимков, либо с топографических карт. В областях со слабо изменяющимся рельефом не всегда просто визуально оценить, где проходит граница водораздела, и под деревьями видеть потоки.

Дренажные сети и потоки, водоразделы - определяются свойствами рельефа, которые способствуют пониманию характера материальных потоков. Они могут быть построены из TIN или высотной матрицы прямым оцифровыванием, но их можно также получить автоматически от высотной матрицы.

Для автоматического получения дренажных сетей из высотных матриц необходимы следующие шаги.

**1. Определение пути.** Поток материала по сеточной поверхности определяется направлением самого крутого склона. Есть несколько алгоритмов для вычисления.

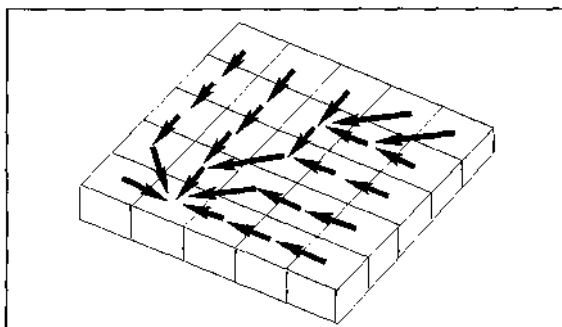


Рис. 8.10. Локальные векторы направления стока, указывающие самый крутой путь.

**D8 (детерминированный) алгоритм** аппроксимирует направление потока направлением самого крутого склона в пределах окна из 3\*3 ячеек. Это ведет автоматически к дискретизации направлений потока через 45°. Алгоритм вычисляет новый атрибут направления потока, который может принимать восемь значений направления, которые могут быть выражены как числовые коды. По аналогии с компьютерной клавиатурой слив или яма обозначены как 5.

Законченный новый слой называется набором локальных направлений стока или ldd. (Рис. 8.10). Каждая ячейка содержит целочисленный тип данных, определяющий FD (направление стока).

Благодаря своей простоте D8 алгоритм включен в ряд коммерческих ГИС.



**Rho8 (случайный) алгоритм** - статистическая версия D8 алгоритма, который лучше представляет стохастические аспекты территории для генерирования вероятных путей стока.

**FD8 and FRho8 алгоритмы.** Модификации первоначальных алгоритмов, позволяющих моделировать дисперсию потока или дисперсию дренажа.

**2. Удаление ям.** Когда гладкая непрерывная поверхность аппроксимирована квадратной сеткой, то неизбежны случаи, когда некоторые ячейки окружены соседними с большей высотой. Эти ямы могут быть реальными депрессиями или случайными последствиями процесса дискретизации.

Проблема со случайными ямами состоит в том, что они прерывают топологию дренажа и должны быть удалены, чтобы получить непрерывную Idd сеть. Они могут быть удалены заполнением. Заполнение увеличивает высоту основной ячейки, пока она не сравняется с одной или большим количеством соседних ячеек, затем область проверяется на наличие стока. Если это не случилось, высота снова увеличивается, пока не будет найдено решение.

Удаление ям - интерактивный процесс, который является неизбежным злом.

Для больших и сложных наборов данных альтернатива ручному редактированию - преобразовать векторную речную сеть к ячейкам сетки и считать речные ячейки самым низким уровнем (высотой) в сети дренажа.

### **Использование Idd сети для пространственного анализа**

Независимо от типа использованного алгоритма, результатом является слой (оверлей) с явной поверхностной топологией. Эта Idd сеть чрезвычайно полезна для вычисления других свойств цифровой модели рельефа, потому что содержит информацию о связи различных ячеек. Это знание делает возможным моделировать процесс направленного стока и переноса вещества.

### **Накопление текущего материала в сети**

Поскольку в топологически правильной сети, каждая ячейка связана с соседней ячейкой вниз по течению, просто вычислить количество материала, проходящего через каждую ячейку. Аккумуляционный оператор вычисляет новое состояние ячейки как сумма первоначального значения ячейки плюс сумма дренируемых ячеек сверху по течению.

Если величина притока вещества дана в другом слое, например, атмосферных осадков, аккумулятивный оператор вычислит прибавление стока на чистом рельефе.

Можно вычислить водный баланс

$$S = P - I - F - E$$

Где  $S$  - приток воды в ячейку,  $P$  - входящие осадки,  $I$  - перехват,  $F$  - инфильтрация и  $E$  - испарение. Совокупный поток по сети получается суммированием  $S$  по связанным ячейкам.

Топологические сети представляют богатые возможности для применения инструментов динамического моделирования ГИС.

По карте прибавления стока можно вычислить другие индексы ландшафта. Например, индекс влажности, индекс мощности потока, индекс транспорта наносов и др.

### **Другие карты, которые могут быть получены из карты локального направления дренажа**

**Русла потоков** могут быть определены как ячейки, имеющие больше чем  $N$  элементов выше по течению. Поточковые каналы могут быть определены, используя логические операторы.

**Гребни (водоразделы).** По определению, гребни не имеют никаких элементов входа, так выбор всех ячеек со значением элементов входа 1 обеспечивает первую оценку гребней.

**Водосборы.** Поскольку все ячейки, которые дренируются через данную ячейку - часть водосбора этой ячейки, то подсчитывая ячейки вверх по Idd, мы получим водосбор самой нижней ячейки. Использование high-pass фильтра или краевого фильтра выделяет границу водосбора, которая может быть векторизована.

**Длина склона** вычисляет новый атрибут ячейки как сумма первоначального значения ячейки, и ячеек вверх по течению, умноженные расстоянием по сети (мы определяем длины наклонных линий).

### **Проблемы с дренажными сетями, полученными из высотных матриц**

Ошибки и точность в **Dem** - формах ландшафта. Они не всегда гладки и дифференцируемы. Размера ячейки может влиять на оценку уклона, экспозиции и потоковой связности.

В высотной матрице потоки всегда имеют ширину в одну ячейку. Но реальные потоки изменяются по ширине по их длине и могут быть более узки или более широки, чем измерения ячейки.

При моделировании транспорта потоков игнорируют инерцию движущихся водных масс.

Несмотря на все эти трудности, **Dem** находит место в наборе инструментов гидролога, а анализ непрерывных поверхностей может дать полезные результаты.

### **Группировка**

Очень часто мы имеем наборы ячеек, которые являются пространственно непрерывными, но которые не могут быть идентифицированы как часть пространственного объекта. Оператор *группы* исследует каждую ячейку, чтобы увидеть, имеет ли любой из ее непосредственных соседей тот же самый класс, если так, то обе ячейки входят в одну группу и присваивается значение, которое идентифицирует группу, как отличную от других. Результат - то, что каждая непрерывная группа ячеек соединена в больший пространственный модуль, полезный для многих целей.

### **Распространение с трением или без него**

Это не операция окна, но аналог операций буферизации на точных объектах. Буфер вокруг векторных объектов обычно ограничивается изоморфным распространением (буфер вокруг круга - только круг большего размера). Буфер на непрерывной поверхности может быть создан гетерогенно, чтобы отразить изменения в сопротивлении процессу распространения (рисунок 8.15).

В не изотропном распространении важны два компонента. Первый - расстояние, подсчитанное как набор ячеек или в реальных единицах. Второй зависит от атрибутов ячеек, через которые идет движение. Чем больше значение атрибута трения, тем больше его накопление при пересечении ячейки. Результат - то, что накопление идет быстрее, где сопротивление самое большое, так что геометрически длинные пути могут быть более дешевыми способами достигнуть данного адресата.

И простое, и фрикционное распространение может использоваться, чтобы моделировать движение потока от разных источников и т.д.

### **Виды территории, теневая нагрузка и интенсивность падающего излучения**

Три связанных метода касаются вычисления путей света между источником освещения на или над поверхностью и его эффектом в других местоположениях. Для этого используются операторы, устанавливающие новые атрибуты, которые обращаются к трехмерной форме непрерывной поверхности.

### **Карты линии видимости**

Это - самая простая операция; цель состоит в том, чтобы определить те части ландшафта, которые могут быть видны из данной точки. Видимость кодируется как двоичная переменная: 0 - невидимый, 1 - видимый. Коллективное распределение всех "истинных" точек называется **viewshed**.

При больших расстояниях необходимо учитывать искривление земли. Важна, также прозрачность атмосферы важна.

Определение видимости по обычным картам - трудная задача из-за большого количества конфигураций, которые надо сравнить. Карты видимости строят из высотных матриц или используют TIN.

Ячейки, которые не скрыты другими ячейками, кодируются чтобы отобразить простую карту. Поскольку производители комплексного оборудования часто кодируют непосредственно по аэрокосмическим снимкам, записанные высоты не принимают во внимание такие особенности, как лес или здания, и результаты должны интерпретироваться с учетом этого.

Viewsheds можно также рассчитать из TIN.

### **Оттенение рельефа на карте**

Картографы разработали ряд методов, чтобы улучшить визуальное восприятие карт, особенно по отношению к рельефу местности.

Один из наиболее успешных - метод оттенения, корни которого уходят в разработки художников Ренессанса для изображения трехмерных объектов.

Цифровые карты сделали возможным автоматическое оттенение рельефа, - точное и однозначное. Принцип автоматизированного оттенения основан на том, что модель ландшафта сделана из идеального материала, и освещена от фиксированного источника света.

Конечные результаты напоминают аэрофотографию, но существенно отличается от нее. Во-первых, не отображается тип покрытия ландшафта. Во-вторых, источник освещения обычно светит из точки под углом  $45^\circ$  выше горизонта на северо-западе. В-третьих, модель территории сглажена и показывает мелкие подробности как на снимке.

Все, что требуется для оттенения рельефа - оценка ориентации поверхностного элемента (уклон и экспозиция) и модель отражения света от фиксированного источника.

**Применение карт с затененным рельефом.** Оттенение рельефа чрезвычайно полезно, чтобы представить отдельное изображение территории с выделением его трехмерных аспектов. В комбинации с тематической информацией они расширяют реализм конечной карты.

### **Отображение интенсивности падающего излучения.**

Это развитие метода оттенения, чтобы оценивать количество прямой солнечной радиации, падающей непосредственно на поверхность. Позиция Солнца устанавливается согласно широте, времени дня и дню года. Можно включить эффект атмосферного поглощения солнечной радиации и также

моделировать затеняющее действие ландшафта, которое важно в холмистых ландшафтах зимой или в начале или конце дня.

### **Другие операции анализа на базе ячейки**

Приведенные здесь операции для непрерывных полей, - наиболее распространенные в ГИС. Другие операции подобного типа были разработаны в областях *Математической Морфологии*.

*Временное изменение.* С сеточными данными очень просто связать операции, описанные выше и вычисления значений атрибутов таким способом, что они могут быть выполнены много раз, таким образом, обеспечивая средства для моделирования динамических процессы.

### **Резюме по операторам, которые могут использоваться в непрерывных полях.**

Из дискретизированных непрерывных полей можно получить много разной информации. Некоторые полученные данные, как типа уклона, экспозиция и линии видимости, оттенки рельефа и интенсивности солнечной радиации, можно также получить из TIN.

Как правило - непрерывное поле - цифровая модель рельефа, однако рассмотренные технологии, можно использовать на любых полях.

### **Практические приложения пространственного анализа непрерывных поверхностей**

Несколько примеров, демонстрирующих дополнительные возможности ГИС, включением операций с полями.

#### **Пространственный анализ в гидрологии поверхностных вод**

Даже с простой растровой ГИС возможно выполнить несложный анализ гидрологических процессов на поверхности. Знание топологической связи между ячейками не только позволяет рассчитать перенос материалов, но также и модифицировать перенос, изменяя атрибут ячейки.

Можно моделировать реакцию уровня воды в реке и ливнями разной интенсивности при разных типах использовании земли.

Подобный подход позволяет оценить распространение загрязняющего вещества точечных источников с водными потоками.

### **Моделирование угрозы почвенной эрозии**

Эрозию как процесс, лучше моделировать, используя модель данных непрерывного поля, чем как атрибут векторных объектов. Самый простой

способ представить транспорт наносов при моделировании как материал, который может течь по Idd сети подобно воде. Потенциальная эрозия для каждой ячейки может быть вычислена, используя точечную модель. Тогда транспортная способность каждой ячейки определяет, сколько из потенциально почвы (грунта) может быть перемещено в соседнюю ячейку.

Транспортная способность сети зависит от геометрических свойств суши, типа склона, длины склона, шероховатости, а также от кинетической энергии воды.

Выявление комбинации крутых склонов, незащищенных почв и быстрых поверхностных потоков, позволяет районировать по потенциалу эрозии.

### **Оптимальные рубки древесины в естественном лесу**

Заготовка древесины в лесу может быть оптимизирована как функция затрат доступа к лесосеке, расположения ценных деревьев и их рыночной цены. Предполагаем, что затраты доступа определены уклоном поверхности земли и пересечениями русел.

Идея позади анализа состоит в том, что все точки в лесу могут быть достигнуты, но при разных затратах. Эти затраты можно представить в виде непрерывной функции места входа до лесосеки. Эта непрерывная функция ведет себя подобно DEM, но его значения  $Z$  - совокупные затраты. Самые короткие пути через эту поверхность - оптимальные маршруты от любой данной ячейки до входа в лес.

### **Перераспределение изотопа цезия в Чернобыле после половодья**

Этот пример представляет интересную проблему: данные об одном атрибуте, уровне радиоактивного цезия в почве, были собраны из анализов проб в 1988 и 1993. Многие из уровней 1993 г. были выше чем, в 1988 г., что противоречит данным ожидания (полураспад - 30 лет).

Используя ГИС вместе с геостатистическим моделированием, удалось доказать, что причиной увеличения активности цезия стало наводнение, вызванное паводком.

Пробы почвы, собранной в 1988 и 1994 гг. демонстрируют, что в некоторых уровни загрязнения снизились в соответствии с распадом изотопа, но есть области, где уровни радиоактивности превышают уровни, измеренные в 1988 г. в 2-3 раза. Главное различие между областями, где уровни снизились и где увеличились - близость рек и каналов.

База данных ГИС основана на картах масштаба 1:10000. Количество проб - 47, 72 и 87 в разные годы. Данные об уровнях радиации были проинтерполированы в сетку с ячейкой 50\*50 м.

*Геостатистический анализ: сравнение данных по годам.* Карты показывали, что в каждый год самые высокие уровни загрязнения

наблюдаются в зоне, которая ежегодно затопляется или в пределах 1 км от воды. Анализ показал наличие связи между затапливаемыми почвами, типами использования земли и областями с высокими уровнями загрязнения.

Дальнейшие данные относительно увеличения уровня радиоактивности молока до и после главного паводка 1993 г. подтверждали прямое влияние наводнения на состояние пастбищ на торфяных почвах.

### Заключение

В этой лекции показан широкий диапазон универсальных методов для получения новых данных из атрибутов, представленных как непрерывные поверхности.

Таблица суммирует функциональные возможности ГИС, которая может иметь дело и с векторными объектами и непрерывными полями.

Геометрия	Преобразование из одной картографической проекции в другую
Интерактивность	Интерактивное добавление и редактирование географических и атрибутивных данных
Сортировка	Сортировка атрибутов или географических данных по требованию
Локализация	Нахождение объектов, имеющих определенный набор атрибутов
Суммирование	Суммирование атрибутов географических объектов (точек, линий, полигонов)
Вычисление статистики	Вычисление статистики (среднее, мода и т. д. для векторных объектов и ячеек)
Операции близости	Ближайшие соседи и операции близости (буферные зоны)
Интерполяция	Интерполяция точечных данных в сетку или изолинии
Блок-диаграммы	Вычисление блок-диаграмм трехмерных данных
Оверлейные операции	Комбинирование нескольких карт, векторных или растровых используя логические, математические функции (фильтры) для манипулирования как географическими, так и атрибутивными данными
Полигон в растр	Конвертирует графическое представление из полигонов в сетку ячеек
Определение границ	Полуавтоматическое определение границ на растровых картах
Сетевой анализ	Нахождение кратчайшего пути по сети. Связь специфических объектов по атрибутам

Цифровой анализ территории	Трехмерное представление. Вычисление уклонов, экспозиции, видимости, направления стока, границ водосбора
Моделирование	Способность взаимодействовать с имитационными моделями