

ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Лекция 6



ПЛАН ЛЕКЦИИ:

- ▶ 1. Пространственно-временное моделирование и визуализация куба «пространство – время».
- ▶ 2. Особенности создания трехмерных моделей поверхности и их геообработки.
- ▶ 3. 3D-визуализация и 3D-анимация в ГИС.

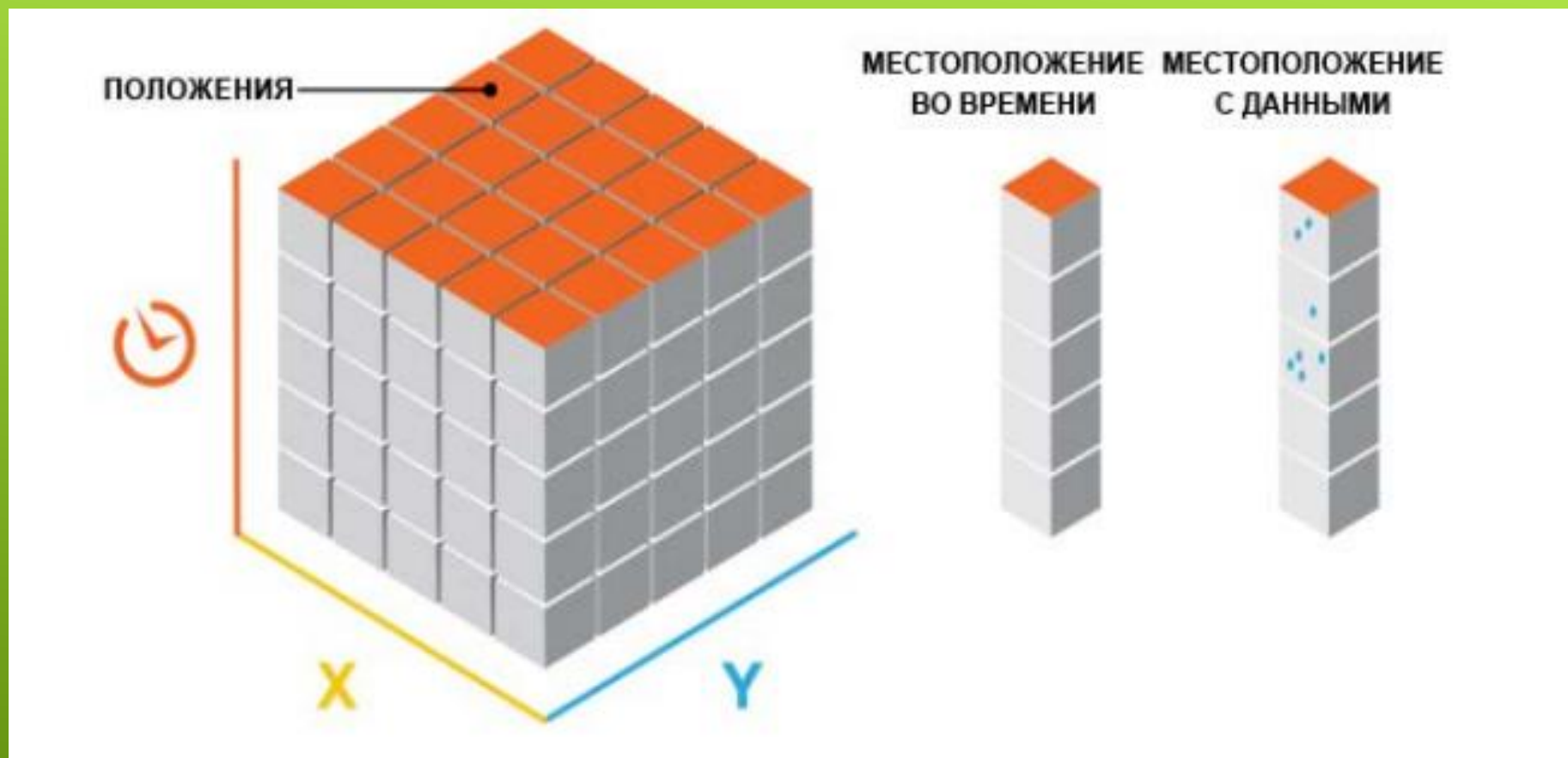
▶ Литературные и информационные источники:

- ▶ 1. Домрачева , А. Б. Пространственно-временное моделирование / А. Б. Домрачева. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 56 с.
- ▶ 2 . Курлович, Д. М. Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск: БГУ, 2015. – 160 с.
- ▶ 3. Цветков , В. Я. Модели в информационных технологиях / В. Я. Цветков. – М.: Макс Пресс, 2006. – 104 с.
- ▶ 4. Classification and regression trees / L. Breiman, [et al.]. – New York: Academic, 2017. – 368 p. Internet-ресурсы
- ▶ 5. Сайт компании ESRI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esri.com/ru-ru/home>.
- ▶ 6. Концепции инструментов углубленного анализа пространственно-временных закономерностей [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pro.arcgis.com/ru/proapp/tool-reference/space-time-pattern-mining/learnmorecreatecube.htm>

- ▶ **1. Пространственно-временное моделирование и визуализация куба «пространство – время»**

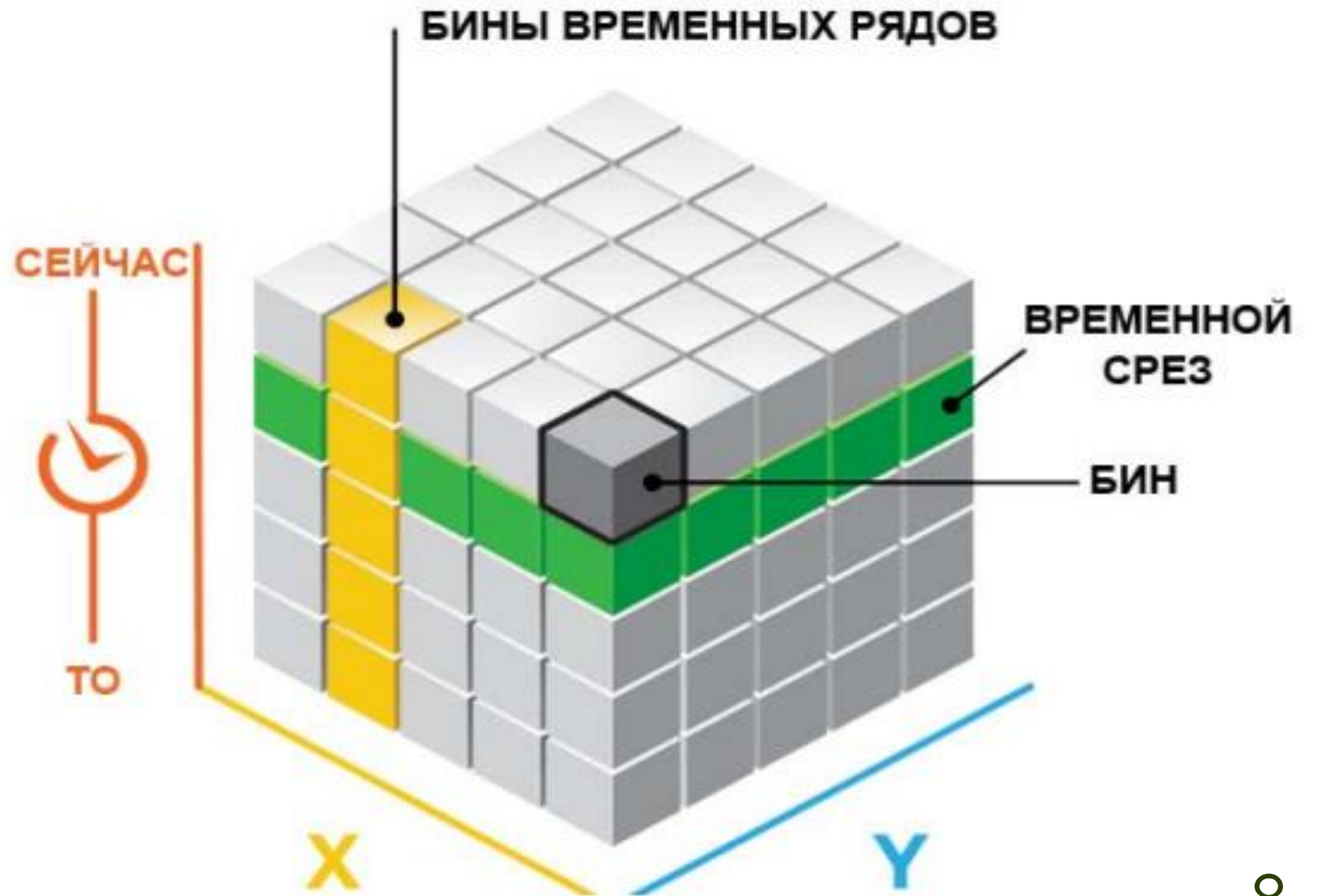
- ▶ **Пространственно-временные данные** – это данные, относящиеся как к пространству, так и ко времени, содержащие сведения о геопространственных объектах за определенный промежуток времени.
- ▶ **Пространственно-временная модель** – модель, в которой входные и выходные данные являются пространственно-временными.
- ▶ **Под пространственно-временным моделированием** подразумевают построение пространственно-временных моделей исследуемых объектов на основе результатов их дистанционного мониторинга или проектирования

► Пространственно-временные данные представляются в виде куба «пространство-время»



- ▶ **Куб «пространство – время»** создается при наличии точечных геопространственных объектов с временной меткой, которые необходимо агрегировать в пространстве, чтобы определить пространственно-временные закономерности в изучаемых местоположениях данных объектов.
- ▶ В результате его построения получают куб сетки (с прямоугольными или гексагональными ячейками), либо куб, структурированный по заданным местоположениям, использованным как полигоны агрегации.
- ▶ В каждой бине этого куба, где x , y -измерения представляют пространство, а t -измерение – время, выполняется подсчет количества точек, вычисляется статистика поля суммирования и определяется наличие трендов во времени в каждом местоположении.

- ▶ Бины в пространственно-временном кубе



- ▶ **Интеллектуальный анализ** пространственно-временных данных относится к категории задач **data mining** и представляет собой процесс получения новых знаний посредством обнаружения закономерностей в существующих данных об изменении характеристик геопространственных объектов во времени.
- ▶ **Data mining** – собирательное название, используемое для обозначения совокупности методов обнаружения в данных, ранее неизвестных, нетривиальных, практически полезных и доступных интерпретации знаний, необходимых для принятия решений в различных сферах человеческой деятельности

- ▶ **Существуют следующие подходы к интеллектуальному анализу пространственно-временных данных:**
- ▶ 1) пространственная кластеризация;
- ▶ 2) анализ пространственных шаблонов;
- ▶ 3) обнаружение пространственно-временных аномалий;
- ▶ 4) анализ пространственной автокорреляции.

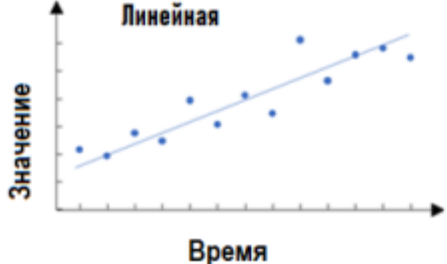
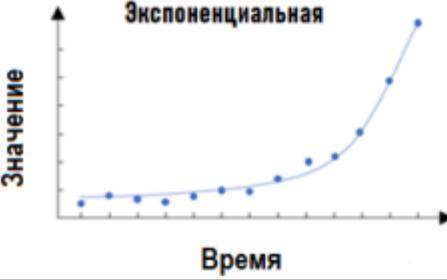
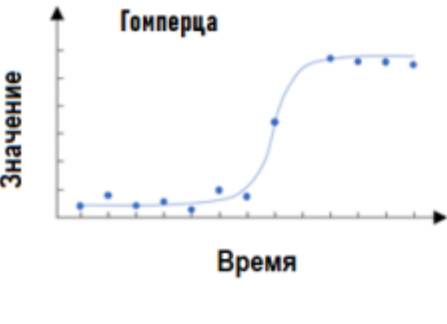
Методы интеллектуального анализа пространственно-временных данных



► **Метод подгонки кривой** для моделирования временных рядов и прогнозирования будущих значений в каждом местоположении в кубе пространства-времени позволяет спрогнозировать величину значения на будущий период.

Типы кривых и их возможное применение при прогнозировании



Тип кривой	Применение при прогнозировании
<p data-bbox="1378 164 1480 187">Линейная</p> 	<p data-bbox="1742 164 2428 415">Линейный тип кривой подходит для данных, которые равномерно возрастают или уменьшаются с течением времени. Например, он может быть использован для прогнозирования численности популяции на том уровне развития сообществ, когда ее прирост более или менее линейный</p>
<p data-bbox="1378 431 1582 454">Экспоненциальная</p> 	<p data-bbox="1742 482 2428 659">Экспоненциальная кривая подходит для данных, которые резко возрастают или уменьшаются с течением времени. Например, с ее помощью возможно спрогнозировать периоды быстрого роста спроса на тот либо иной товар</p>
<p data-bbox="1365 714 1544 736">Параболическая</p> 	<p data-bbox="1742 719 2428 968">Параболические кривые подходят для данных, направление изменений которых меняется с течением времени, не важно, с увеличения на уменьшение, или наоборот. Остальные типы кривых предполагают, что значения в данных последовательно возрастают или уменьшаются во времени</p>
<p data-bbox="1378 981 1480 1003">Гомперца</p> 	<p data-bbox="1742 986 2428 1306">Кривые Гомперца используются для моделирования роста с ограничением емкости. Например, численность населения, как правило, сначала растет довольно медленно, но как только достигает определенного порога, достаточного для поддержки промышленности, сразу же существенно ускоряется. Затем рост снова замедляется, так как численность достигает предела возможностей региона</p>



- ▶ Метод анализа куба «пространство – время», используемый как входные данные, является **анализ горячих точек**, в ходе выполнения которого идентифицируются тренды в агрегированных в бинах точечных данных, полях суммирования или переменных, а также вычисляется локальный индекс Морана для идентификации статистически важных кластеров и выбросов в контексте пространства и времени.

- ▶ По аналогии с двумерными пространственными данными **в пределах куба производится анализ горячих и холодных точек**, а также выполняется кластерный анализ, в ходе которого определяются бины со статистически значимыми **аномально высокими либо аномально низкими значениями**, а также выбросы высоких и низких значений.
- ▶ Наличие третьей координаты – времени позволяет, в отличие от двумерных геопространственных данных, идентифицировать также новые и постоянные, последовательные и спорадические, колеблющиеся и исторические, возрастающие и убывающие горячие и холодные точки

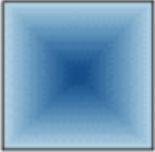



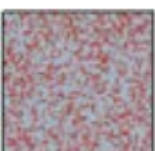

Категории местоположений, идентифицируемые при анализе горячих и холодных точек

Обозначение	Закономерность	Определение
1	2	3
	Закономерность не обнаружена	Не соответствует ни одной закономерности горячей или холодной точки
	Новая горячая точка	Местоположение, являющееся статистически значимой горячей точкой в последнем временном шаге, которое ранее не являлось статистически значимой горячей точкой
	Последовательная горячая точка	Местоположение, характеризующееся одной непрерывной серией бинов, которые являются статистически значимыми горячими точками в последних интервалах временных шагов; не являлось статистически значимой горячей точкой до возникновения закономерности в последних временных шагах, кроме того, в этом местоположении менее 90 % всех бинов являются статистически значимыми горячими точками
	Возрастающая горячая точка	Местоположение, являющееся статистически значимой горячей точкой для 90 % интервалов временных шагов, включая последний временной шаг; интенсивность кластеризации высоких значений в каждом временном шаге с течением времени возрастает, одновременно с ростом статистической значимости

- ▶ Категории местоположений, идентифицируемые при анализе горячих и холодных точек

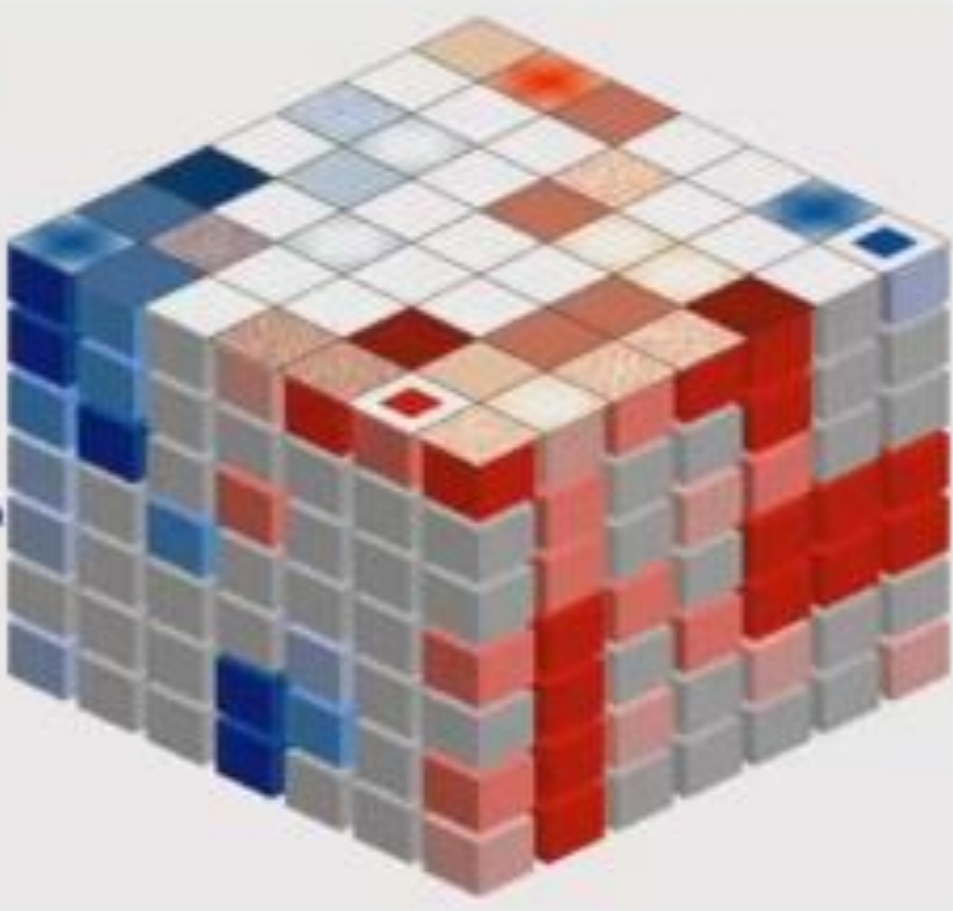
1	2	3
	Постоянная горячая точка	Местоположение, являющееся статистически значимой горячей точкой для 90 % интервалов временных шагов, в котором не обнаруживаются трендов, свидетельствующих о возрастании или убывании кластеризации с течением времени
	Убывающая горячая точка	Местоположение, являющееся статистически значимой горячей точкой для 90 % интервалов временных шагов, включая последний временной шаг; интенсивность кластеризации в каждом временном шаге с течением времени убывает одновременно со снижением статистической значимости
	Спорадическая горячая точка	Местоположение, в котором горячая точка то появляется, то исчезает. Менее 90 % всех интервалов временных шагов являются статистически значимыми горячими точками и ни один из интервалов не является статистически значимой холодной точкой
	Колеблющаяся горячая точка	Статистически значимая горячая точка в последнем временном шаге, которая в предыдущем временном шаге регистрировалась как статистически значимая холодная точка; статистически значимыми горячими точками являются менее 90 % интервалов
	Историческая горячая точка	Местоположение в последнем временном периоде не является горячей точкой, но ранее, не менее чем в 90 % интервалов временных шагов, являлось статистически значимой горячей точкой
	Новая холодная точка	Местоположение, являющееся статистически значимой холодной точкой в последнем временном шаге, которое ранее не являлось статистически значимой холодной точкой
	Последовательная холодная точка	Местоположение, характеризующееся одной непрерывной серией бинов, которые являются статистически значимыми холодными точками в последних интервалах временных шагов; не являлось статистически значимой холодной точкой до возникновения закономерности в последних временных шагах, кроме того, в этом местоположении менее 90 % всех бинов являются статистически значимыми холодными точками

- Категории местоположений, идентифицируемые при анализе горячих и холодных точек

1	2	3
	Возрастающая холодная точка	Местоположение, являющееся статистически значимой холодной точкой для 90 % интервалов временных шагов, включая последний временной шаг; интенсивность кластеризации низких значений в каждом временном шаге с течением времени возрастает одновременно с ростом статистической значимости
	Постоянная холодная точка	Местоположение, являющееся статистически значимой холодной точкой для 90 % интервалов временных шагов, в котором не обнаруживается трендов, свидетельствующих о возрастании или убывании кластеризации с течением времени
	Убывающая холодная точка	Местоположение, являющееся статистически значимой холодной точкой для 90 % интервалов временных шагов, включая последний временной шаг; интенсивность кластеризации низких значений в каждом временном шаге с течением времени убывает одновременно со снижением статистической значимости
	Спорадическая холодная точка	Местоположение, в котором холодная точка то появляется, то исчезает. Менее 90 % всех интервалов временных шагов являются статистически значимыми холодными точками, и ни один из интервалов не является статистически значимой горячей точкой
	Колеблющаяся холодная точка	Статистически значимая холодная точка в последнем временном шаге, которая в предыдущем временном шаге регистрировалась как статистически значимая горячая точка; статистически значимыми холодными точками являются менее 90 % интервалов временных шагов
	Историческая холодная точка	Местоположение в последнем временном периоде не является холодной точкой, но ранее, не менее чем в 90 % интервалов временных шагов, являлось статистически значимой холодной точкой

► Результат визуализации куба «пространство – время» после выполнения анализа горячих точек

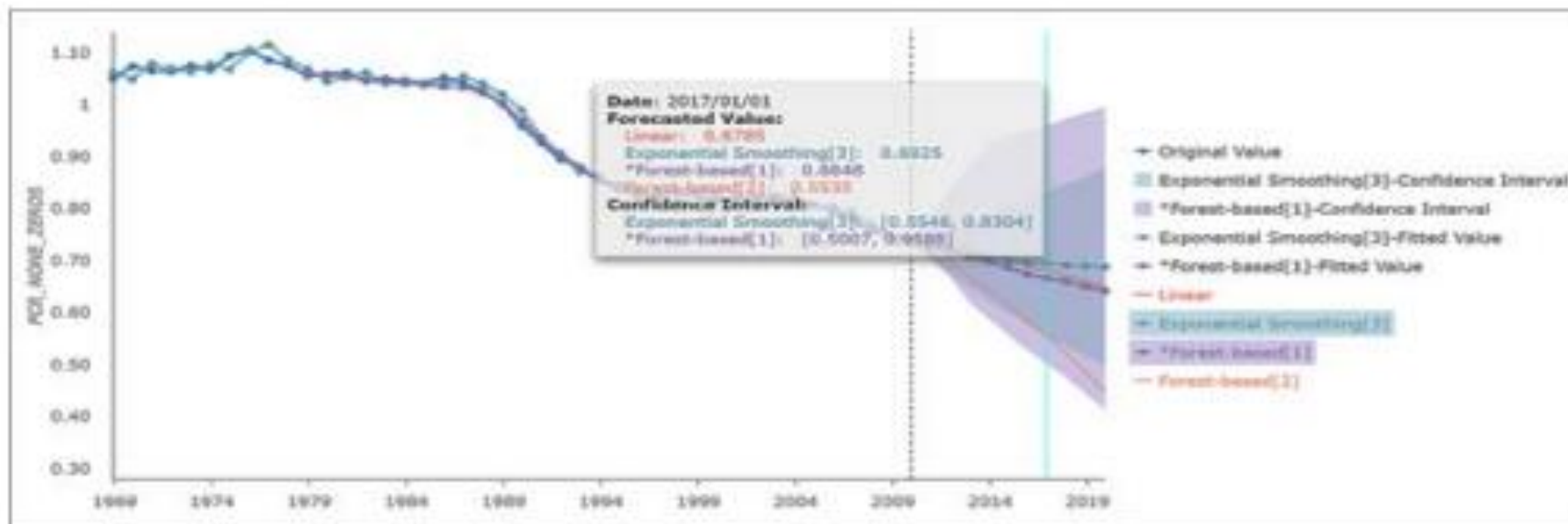
- Новая горячая точка
- Последовательная горячая точка
- Возрастающая горячая точка
- Постоянная горячая точка
- Убывающая горячая точка
- Спорадическая горячая точка
- Колеблющаяся горячая точка
- Историческая горячая точка
- Новая холодная точка
- Последовательная холодная точка
- Возрастающая холодная точка
- Постоянная холодная точка
- Убывающая холодная точка
- Спорадическая холодная точка
- Колеблющаяся холодная точка
- Историческая холодная точка
- Не значима



- ▶ Способ интеллектуального анализа куба «пространство – время» является выполнение **прогноза в каждом местоположении**, выбор наиболее точного метода для представления прогнозных данных для этого местоположения, позволяющий попробовать несколько методов прогнозирования и выбрать наиболее точное местоположение по исходным данным местоположения.

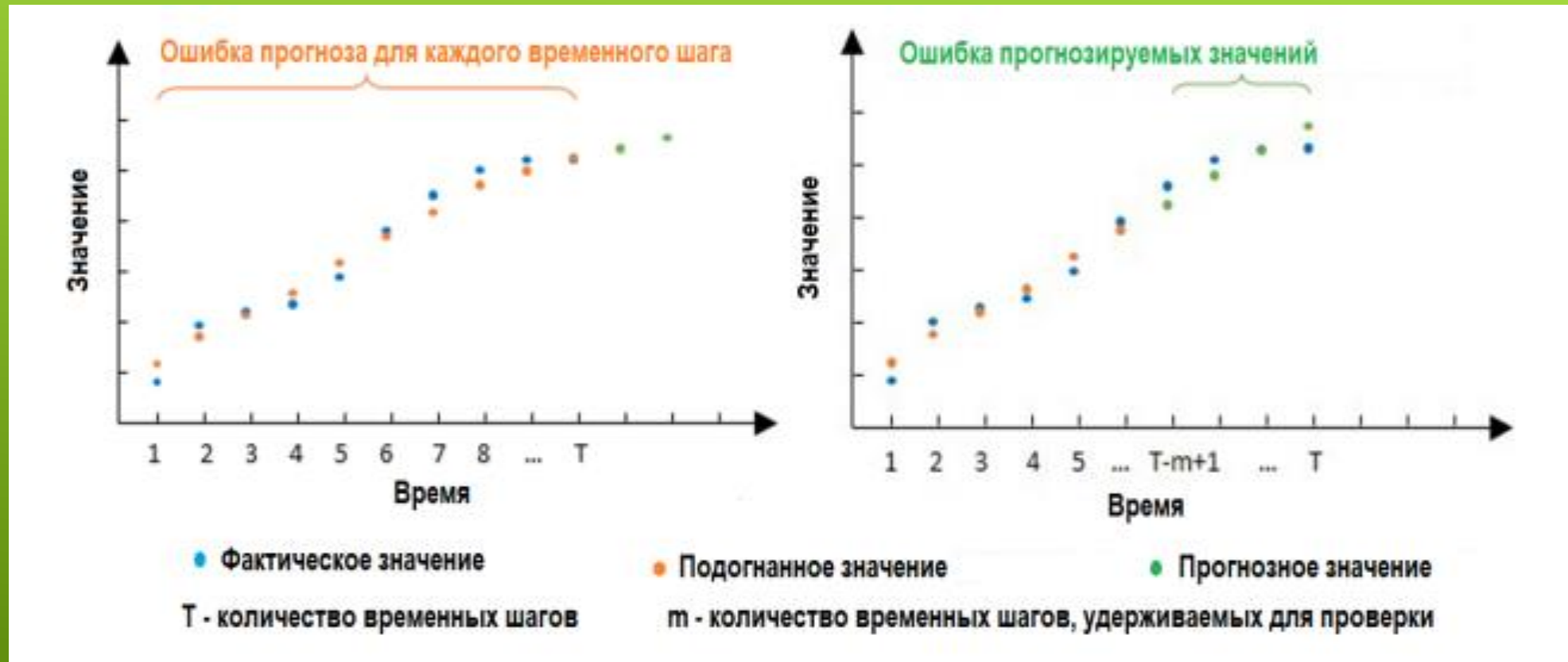
▶ **Диаграмма прогноза, построенная по результатам анализа местоположения в кубе «пространство – время»:**

- ▶ вертикальная пунктирная линия – время начала прогноза;
- ▶ окрашенные области – доверительные интервалы для выбранных методов прогноза;
- ▶ вертикальная голубая линия – отображает все значения диаграммы на заданном временном шаге



- ▶ Для эффективного прогнозирования будущих временных шагов в каждом местоположении применяют **метод экспоненциального сглаживания Хольта – Винтерса**, с помощью которого разделяют временные ряды в каждом местоположении куба «пространство время» на сезонные и трендовые компоненты.
- ▶ **Строятся две модели:**
 - ▶ – первая – модель прогнозирования, которая используется для прогнозирования значений будущих временных шагов;
 - ▶ – вторая – модель проверки, используемая для проверки прогнозируемых значений

► Модель прогноза и модель проверки для временных шагов



- ▶ Для прогнозирования будущих временных срезов в кубе пространства-времени используется **регрессия на основе леса решений**.
- ▶ Обучающие данные, использованные для построения модели регрессии леса, создаются путем использования временных окон в каждом местоположении в кубе пространства – времени.

- Процесс обучения модели леса и прогнозирования первых семи будущих временных шагов (обучающий сет – набор независимых переменных; прогнозный сет – набор зависимых переменных)



▶ 2. Особенности создания трехмерных моделей поверхности и их геообработки

- ▶ **Трехмерное моделирование поверхности** – это процесс разработки пространственной формы поверхности в трех измерениях с учетом **геореференции**, являющийся одной из разновидностей геоинформационного моделирования.
- ▶ **Геореференция** – соотнесение информации об объектах на земной поверхности, в околоземном пространстве, в подземном пространстве с метрической составляющей геоданных.
- ▶ **Цель трехмерного моделирования поверхности** – информационное управление, получение качественно новых знаний и формирование информационных геопространственных ресурсов

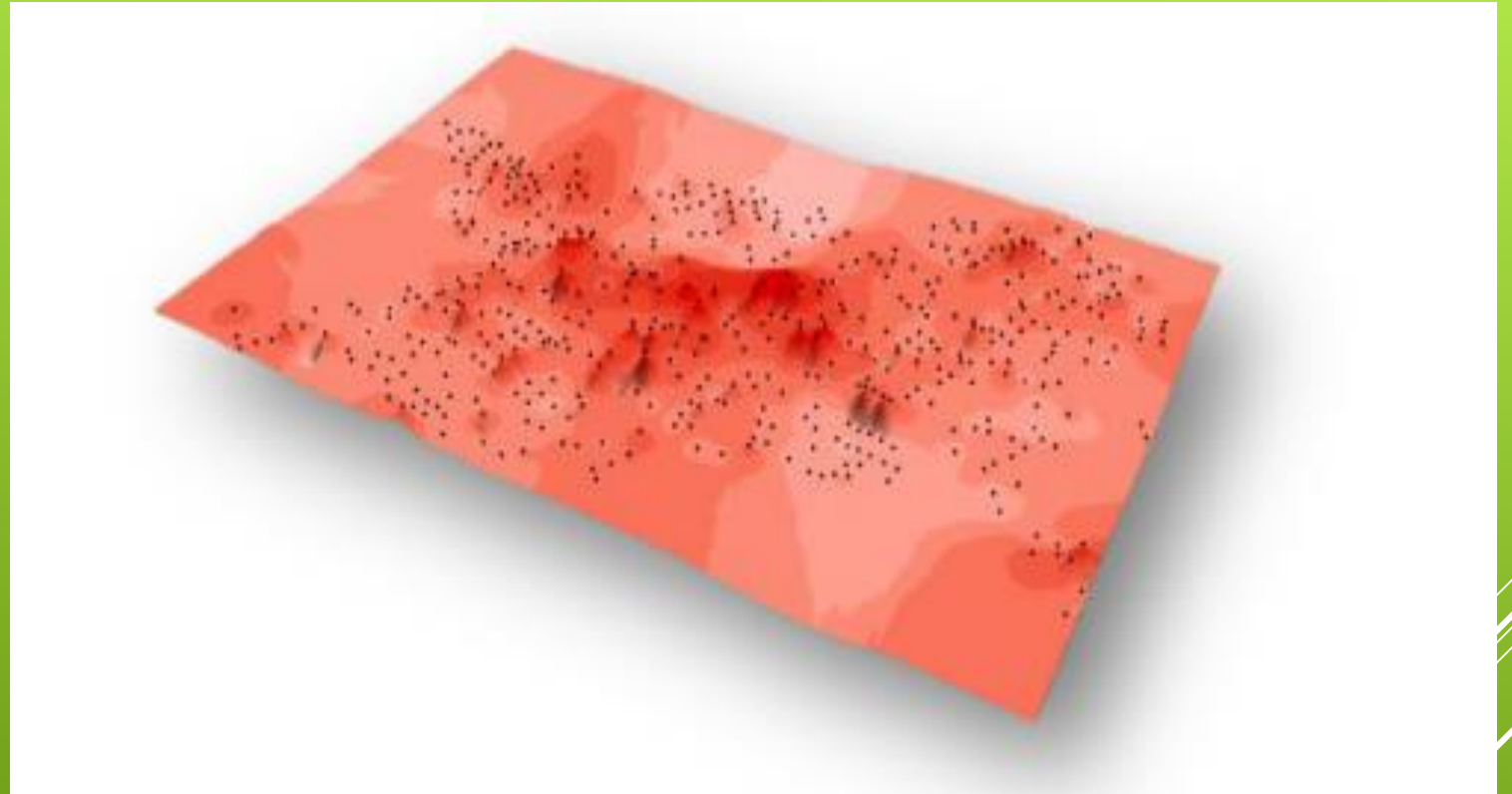
- ▶ **Трёхмерное моделирование** позволяет выполнить:
- ▶ – изучение рельефа и его морфометрических характеристик;
- ▶ – моделирование полей рассеивания химических веществ в гидросфере, атмосфере и педосфере;
- ▶ – моделирование городской среды и транспортных коммуникаций;
- ▶ – имитацию чрезвычайных ситуаций (наводнения, сход лавин и селевых потоков).

▶ **В процессе создания трехмерной модели поверхности выполняются следующие операции:**

- ▶ – конструирование трехмерной сцены;
- ▶ – назначение поверхности 3D-сцены растровой текстуры, имитирующей реальные объекты;
- ▶ – анализ трехмерной поверхности;
- ▶ – установка и настройка освещения 3D-сцены;
- ▶ – анимация 3D-сцены для передачи динамики процесса;
- ▶ – вывод 3D-сцены на дисплей или принтер.

- ▶ **3D-модель поверхности является цифровым отображением пространственных объектов**, как реальных, так и гипотетических, в трехмерном пространстве.
- ▶ Поверхности могут быть как реальными (ландшафт, городские улицы, цифровая модель местности), так и вычисленными или гипотетическими (пример вычисленной поверхности – уровень загрязнения почвы тяжелыми металлами в пределах каждого поля; вымышленные поверхности используются в видеоиграх или компьютерных симуляциях).

- ▶ 3D-модель поверхности содержания гумуса, созданная посредством интерполяции методом обратных взвешенных расстояний

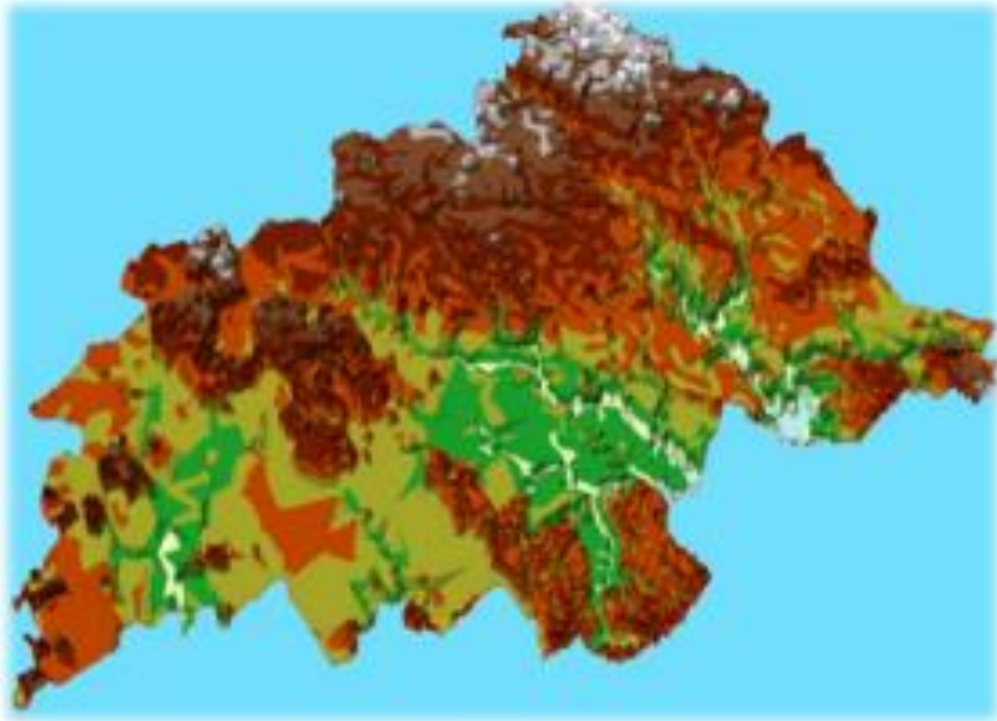


- ▶ **Геообработка** – это обработка пространственных данных, которая обеспечивает возможность создания новых данных путем обработки существующих.
- ▶ Операции геообработки 3D-моделей позволяют:
 - ▶ – создавать и редактировать растровые, TIN и terrain-поверхности и извлекать из них различную информацию;
 - ▶ – конвертировать TIN в векторные или растровые данные;
 - ▶ – создавать 3D пространственные объекты на основе функциональных поверхностей путем извлечения данных высот;
 - ▶ – интерполировать данные растров;
 - ▶ – выполнять математическую обработку и переклассификацию растров;
 - ▶ – получать из TIN и растров данные о высотах, уклонах, экспозициях и объемах.

- ▶ **Посредством геообработки возможно выполнять количественное выражение и отображение форм рельефа земной поверхности, представленного цифровой 3D-моделью рельефа, и выявлять закономерности, которые не видны на исходной поверхности:**
- ▶ – создать класс линейных объектов изолиний из растровой 3D-поверхности, класс пространственных объектов выбранных значений изолиний или построить изолинии по растровой поверхности с учетом включения объектов-барьеров;
- ▶ – вычислить профильную и плановую кривизну растровой поверхности, объем насыпей и выемок, разницу в объеме между двумя поверхностями;
- ▶ – создать рельеф с тенью из растровой поверхности, принимая во внимание угол источника освещения и тени;
- ▶ – определить уклон (градиент, или скорость максимального изменения значения z) для каждой ячейки поверхности растра;
- ▶ – создать полигональные объекты, которые представляют диапазоны значений уклона для триангулированных поверхностей

▶ **Уклон растровой 3D-поверхности:**

- ▶ а – TIN-модель поверхности с применением вытягивания;
- ▶ б – полигональные объекты, которые представляют диапазоны значений уклона

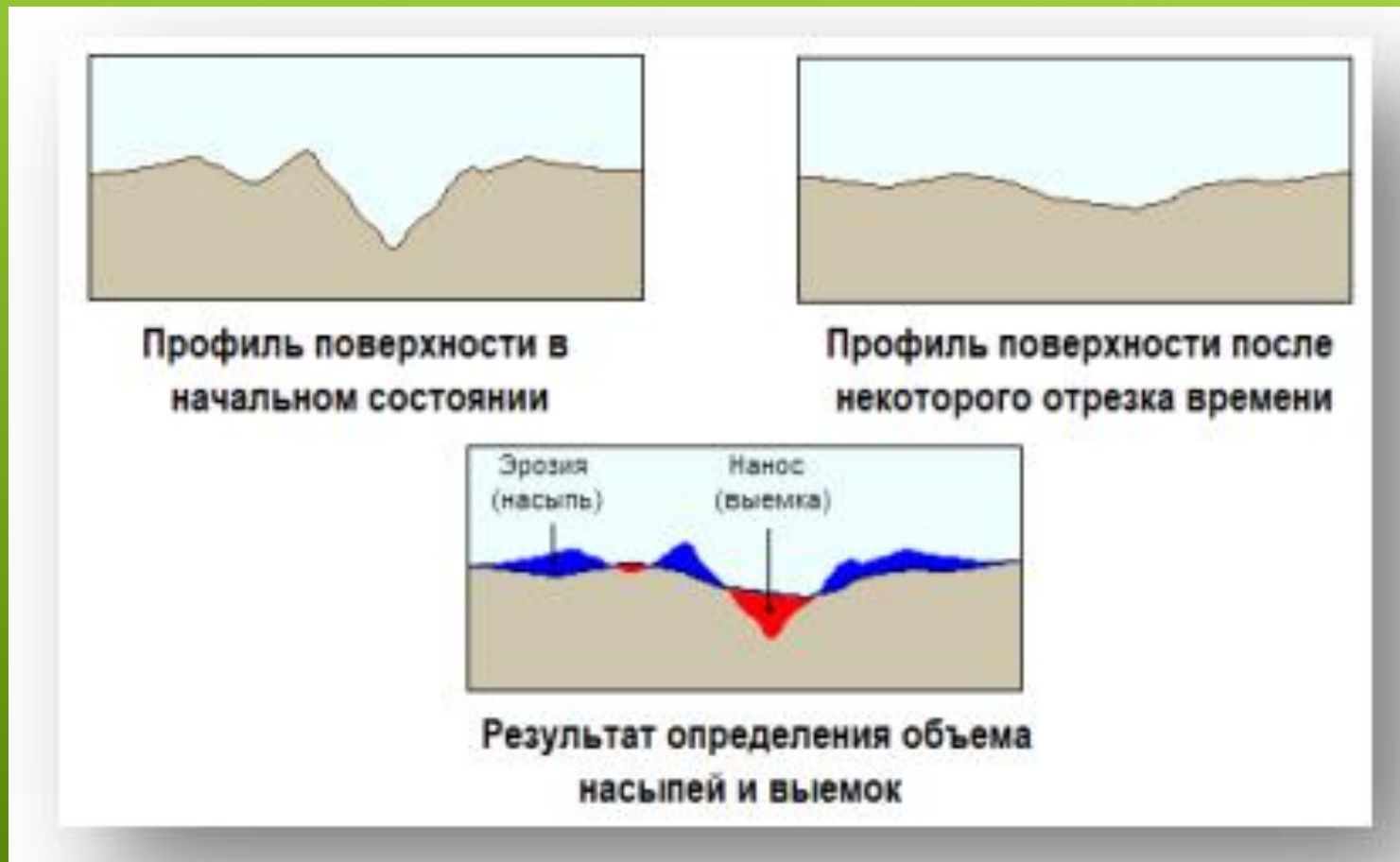


а



б

- ▶ **Посредством определения объема насыпей и выемок** вычисляются площади и объемы, которые изменяются в два различных момента времени, и определяются участки, с которых материал был удален, участки, на которые материал был добавлен, а также участки, где поверхность не претерпела изменений



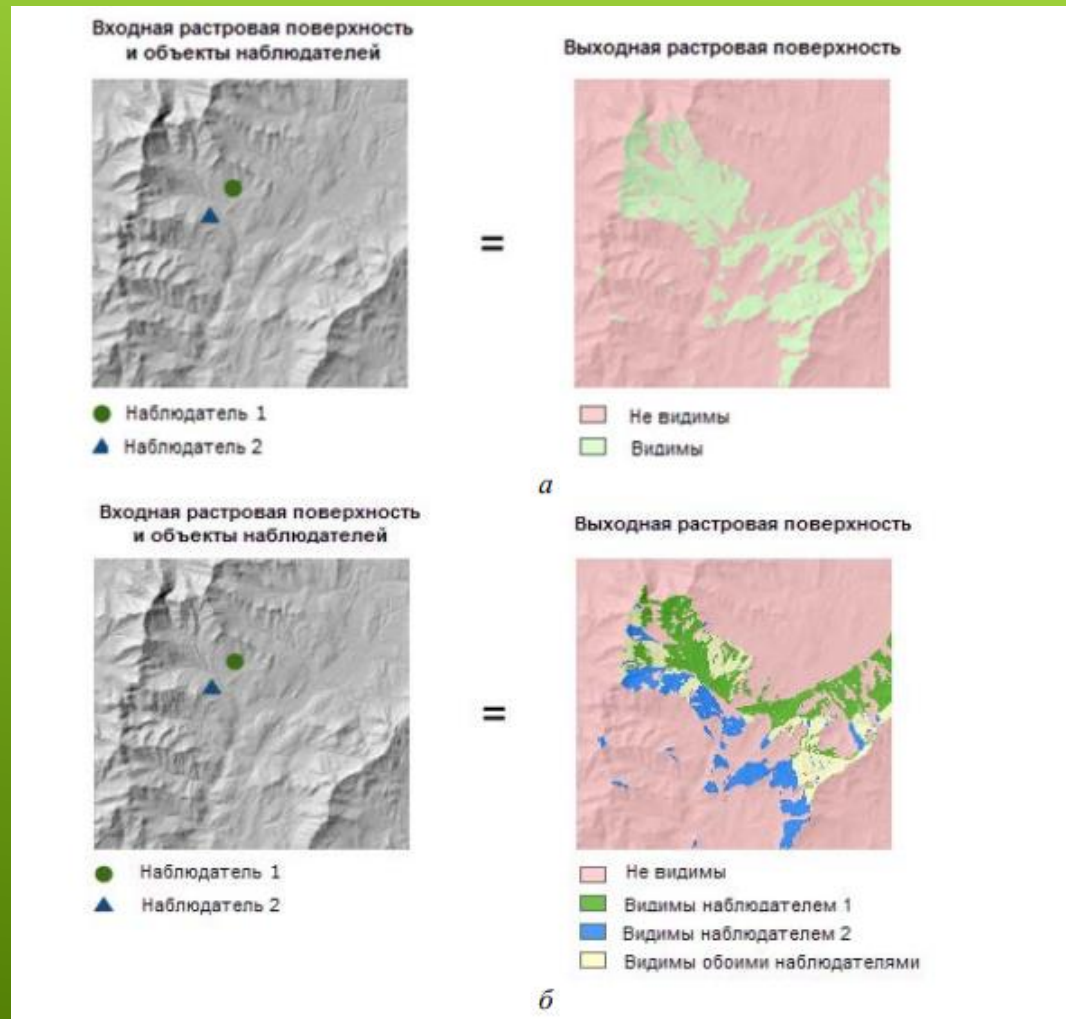
▶ **Данная операция позволяет:**

- ▶ – определять участки проявления эрозии и накопления осадочного материала в долине реки;
- ▶ – вычислять объемы и площади поверхностного материала, который должен быть удален, а также площади и объемы участков, которые должны быть выровнены до уровня площадки под строительство;
- ▶ – вычислять объемы и площади поверхностного материала, необходимого при выполнении рекультивационных работ на территории, нарушенной вследствие добычи полезных ископаемых открытым способом;
- ▶ – выявлять участки, которые часто заполняются поверхностным материалом во время грязевых оползней, а также определять безопасные для строительства домов участки со стабильным грунтом

- ▶ **Анализ зон видимости** – функция, использующая значение высоты каждой ячейки раstra цифровой модели рельефа (ЦМР) для определения видимости конкретной ячейки или из нее.

Анализ видимости в пределах растровой поверхности:

а – анализ обоюдной видимости; б – анализ видимости для отдельных наблюдателей



▶ 3. 3D-визуализация и 3D-анимация в ГИС

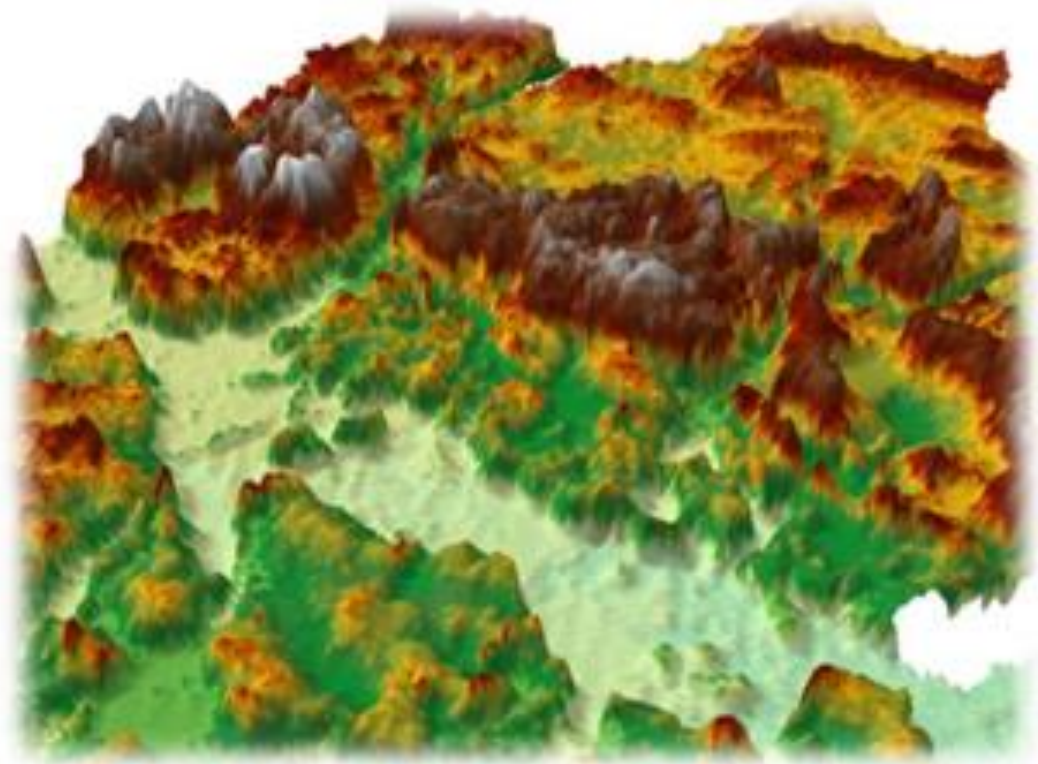
- ▶ **Визуализация данных в трех измерениях дает новые перспективы и позволяет выявить особенности, которые не видны на плоской карте с теми же данными в 2D-формате.**
- ▶ **Просмотр 3D-данных в ГИС возможен в глобальном масштабе** (используется для просмотра больших объемов 3D-данных) и **локальном масштабе**, когда осуществляется просмотр данных небольшого участка в местной системе координат

► **Просмотр 3D-данных в ГИС:**

а – глобальный масштаб; б – локальный масштаб



а



б

▶ **В процессе визуализации возможно:**

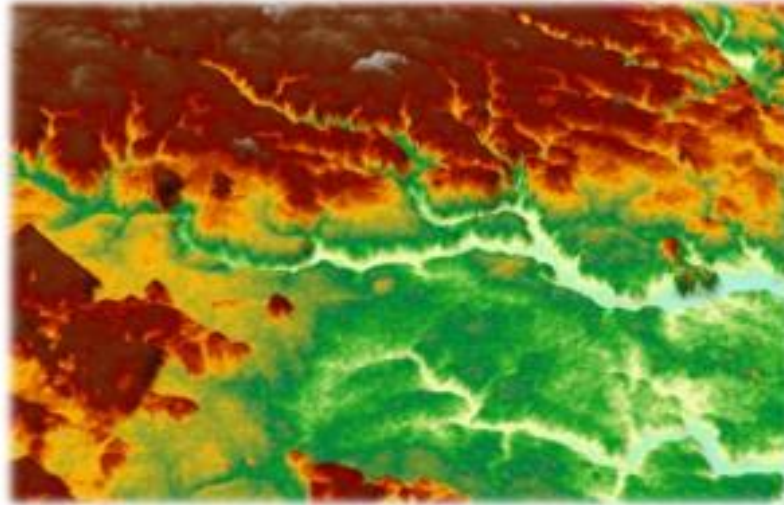
- ▶ – создавать многослойные 3D-ландшафты в 3D-пространстве и для каждого слоя управлять особенностями его отображения и размещения в пространстве;
- ▶ – управлять глобальными характеристиками 3D-просмотра, такими как освещение или вертикальное преувеличение;
- ▶ – выбирать пространственные объекты по их атрибутам или по относительному положению;
- ▶ - осуществлять интерактивную навигацию по 3D-просмотру или задавать координаты наблюдателя и цели для средства просмотра.

- ▶ **В прикладном аспекте 3D-визуализация позволяет:**
- ▶ – наглядно оценить воздействие проектируемых зданий на городской пейзаж при проведении проектных работ в строительстве и на транспорте;
- ▶ – определить видимость и безопасность траекторий полета, в частности для беспилотных летательных аппаратов;
- ▶ – изучать взаимосвязи между трехмерными объектами над и под земной поверхностью

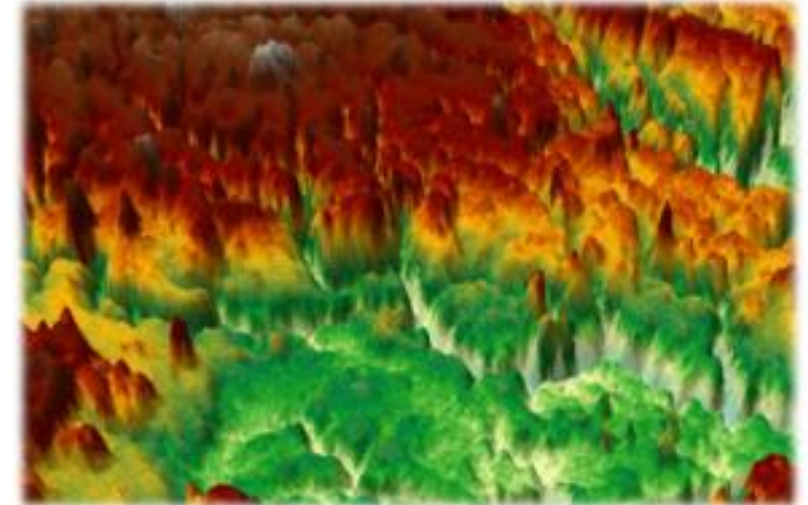
- ▶ Одним из способов визуализация 3D-данных является **выполнение драпировки изображения или векторных данных на поверхность**, а также вытягивание векторных объектов в направлении от поверхности, создавая таким образом линии, стены и объемные фигуры

Вытягивание вертикального размера 3D-сцены:

а – коэффициент конвертации значений высот 1,5;
б – коэффициент конвертации значений высот 5,5



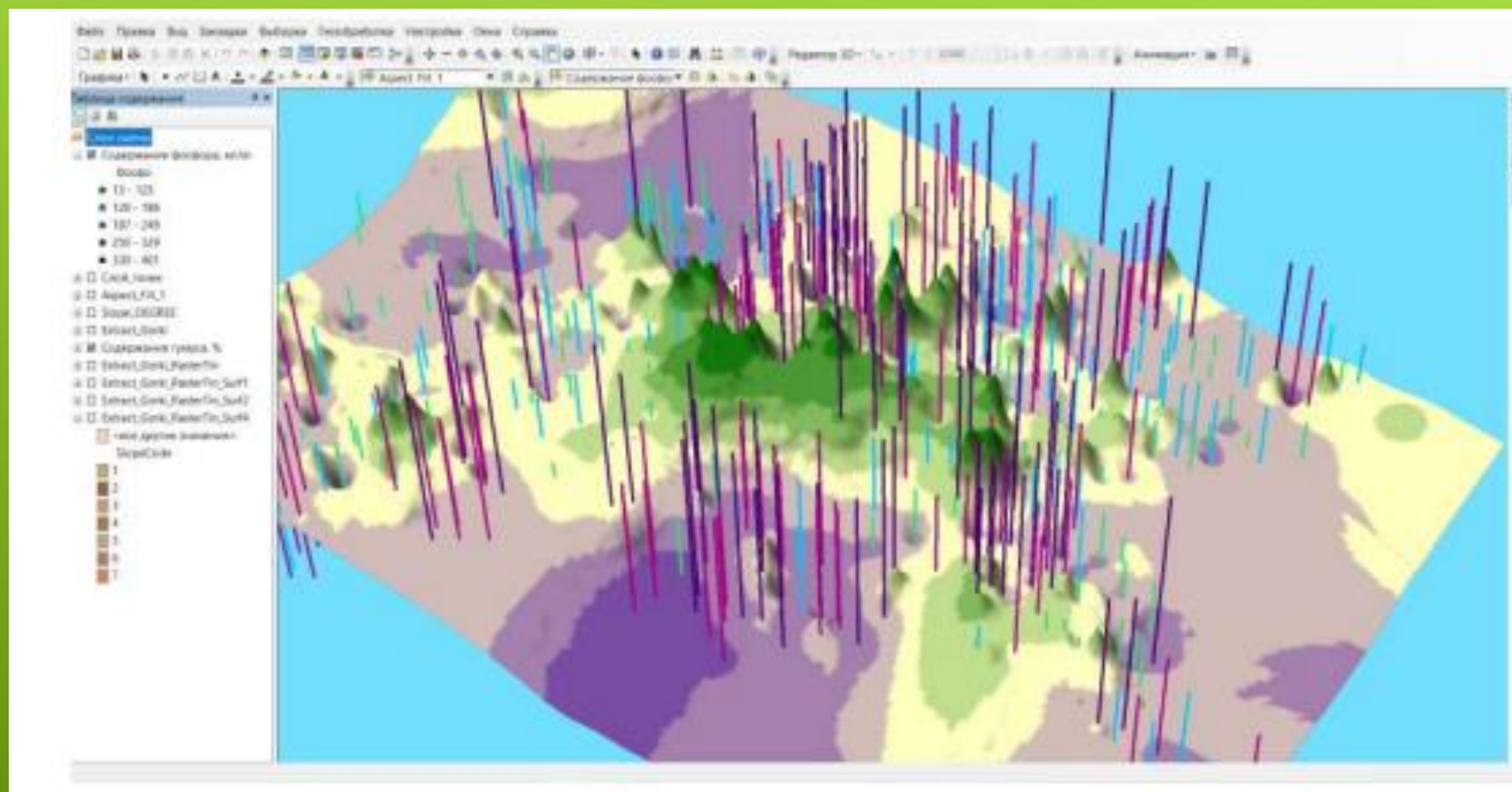
а



б

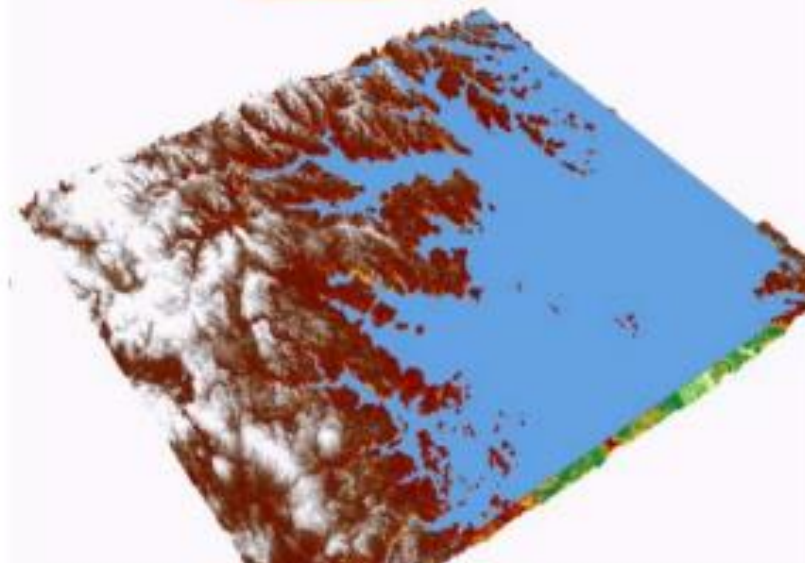
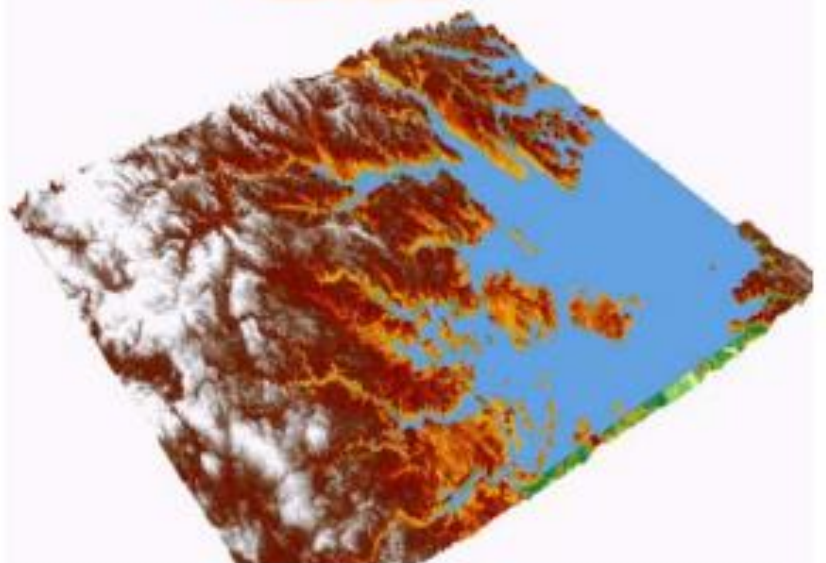
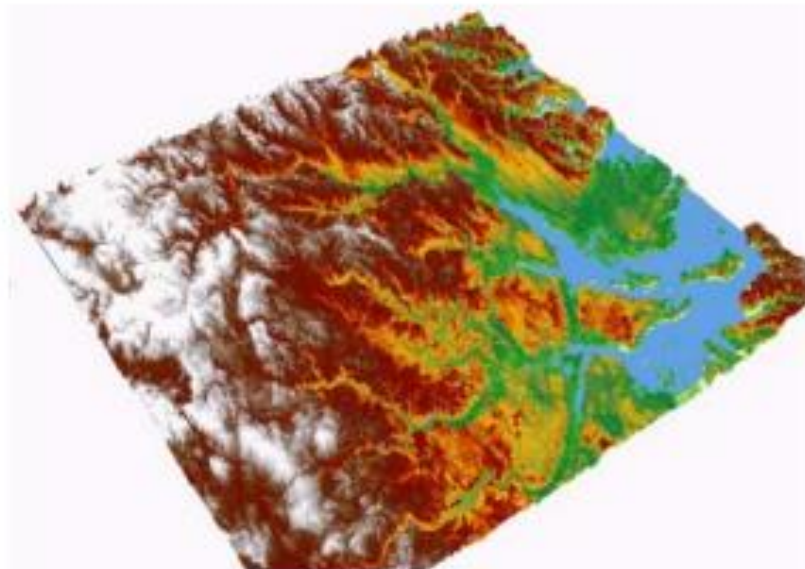
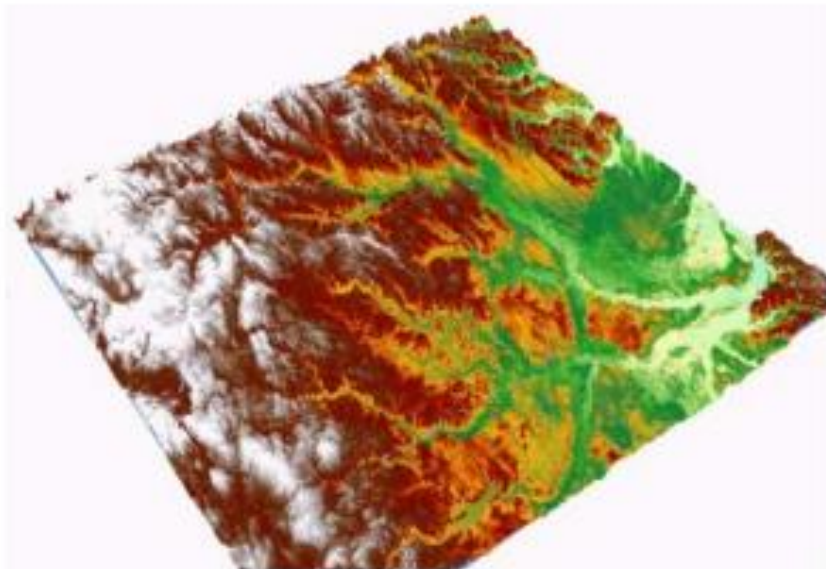
- ▶ Возможна также **одновременная визуализация нескольких слоев**, в результате чего отображаются 3D-поверхность и трехмерные точечные, линейные либо полигональные объекты.

Фрагмент тепловой карты, на которой в форме 3D-поверхности отображено содержание гумуса в почве, а в форме вытянутых 3D-точек – содержание подвижного фосфора в определенных точках поверхности



- ▶ **3D-анимация** – это визуальное отображение изменений свойств одного объекта (например, сцены или слоя) или набора объектов (например, нескольких слоев).
- ▶ Данный прием позволяет «оживить» визуализацию объекта благодаря сохранению действий, которые могут повторяться, создавая таким образом иллюзию непрерывности.
- ▶ Различают следующие типы 3D-анимации в ГИС:
 - ▶ – перемещение по изображению посредством изменения места положения сцены или объекта над ландшафтом;
 - ▶ – изменение прозрачности и видимости слоев сцены, позволяющее просматривать информацию, содержащуюся в различных слоях;
 - ▶ – перемещение камеры или вида сцены вдоль маршрута;
 - ▶ – анимация данных во времени при перемещении камеры;
 - ▶ – изменение цвета фона, освещения или вертикального масштаба сцены.

► Фрагменты анимации симуляции наводнения



- ▶ Чтобы анимировать свойства объекта (слоя, таблицы, камеры, вида или сцены) или нескольких объектов, необходимо **создать связанный с объектом трек**.
- ▶ *Трек* – упорядоченный набор однородных кадров, которые при проигрывании анимации показывают изменения в динамике.
- ▶ **Анимация состоит из одного или нескольких треков**, а каждый трек состоит из нескольких кадров.
- ▶ *Кадр* – моментальный снимок свойств объекта в определенный момент времени при анимации.

- ▶ Существует **три типа кадров**, которые могут использоваться для построения анимации 3D-сцен:
- ▶ – первый тип – это кадр камеры, являющийся мгновенным снимком вида, который отображается в текущем экстенте сцены;
- ▶ – второй тип – кадр слоя, являющийся снимком с отображением свойств слоя; – третий тип – кадр сцены, хранящий свойства сцены.

▶ СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!