

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

**И.К. Лурье, Т.Е. Самсонов**

## **ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ**

**Информатика с основами геоинформатики**

**Часть 2. Основы геоинформатики**

*Учебное пособие*

Географический факультет МГУ

2016

УДК 528.9  
ББК 26.17 + 26.8  
Л86

**Рецензенты:** д-р геогр. наук В.С. Тикунов  
канд. геогр. наук Е.Г. Капралов

*Печатается по постановлению  
Ученого совета географического факультета  
Московского государственного университета  
имени М. В. Ломоносова*

**Лурье И.К., Самсонов Т.Е.**

Л86 **ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ // Информатика  
с основами геоинформатики. Часть 2: Основы геоин-  
форматики.** Учебное пособие. – М.: Географический факуль-  
тет МГУ, 2016. – 200 с.

ISBN 978-5-89575-235-7

Учебное пособие, разработанное по курсу «Информатика с основами геоинформатики». Часть 2: «Основы геоинформатики» в форме компьютерного практикума, представляет собой комплекс учебных заданий для последовательного освоения практических методов геоинформатики и ГИС-технологий пространственного анализа с использованием баз пространственных данных и создания карт, а также методик их применения в географических исследованиях. Практикум разработан на базе программного обеспечения ArcGIS (Esri, США).

При подготовке пособия использованы разработки, выполненные в рамках деятельности Научно-образовательного центра «Картография, геоинформатика и аэрокосмическое зондирование в географии», а также ведущей научной школы географической картографии (НШ-2248.2014.5).

Для студентов 2-го курса, обучающихся по направлениям 021000 «География», 021300 «Картография и геоинформатика», 021600 «Гидрометеорология», 022000 «Экология и природопользование», а также может быть полезно для студентов и аспирантов-географов, преподавателей, специалистов, работающих в области наук о Земле, заинтересованных в использовании ГИС-технологий в своих исследованиях.

УДК 528.9  
ББК 26.17 + 26.8

ISBN 978-5-89575-235-7

© Лурье И.К., Самсонов Т.Е., 2016  
© Географический факультет МГУ, 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Теоретико-методологические и практические достижения в области геоинформатики и создания географических информационных систем (ГИС) теперь широко используются в науках о Земле и тесно связанных с ними социально-экономических науках, что повышает эффективность и результативность методов географических исследований.

Возрастающий интерес к ГИС, применение которых вышло далеко за пределы географии, стремление к освоению технологий современных ГИС-пакетов требуют постоянного заострения внимания их пользователей и создателей на более глубоком понимании сущности и возможностей ГИС и геоинформационных технологий. Это особенно важно для специалистов, исследующих природные и природно-общественные геосистемы, их развитие и устойчивость. Такое понимание должно базироваться на знаниях, с одной стороны, основных законов природы и их проявлений при разном территориальном охвате, с другой – базовых положений и методов геоинформатики.

Представляемое учебное пособие предназначено для обеспечения практикума по курсу «Информатика с основами геоинформатики». Часть 2: «Основы геоинформатики». Цели освоения дисциплины «Информатика с основами геоинформатики» – получение общих и специальных знаний в области информатики, современных компьютерных, информационных и геоинформационных технологий, методов создания и использования географических информационных систем (ГИС), а также выработка методических и практических навыков выполнения географических исследований на основе полученных знаний.

Излагаемый в пособии материал направлен на освоение практических методов геоинформатики и ГИС-технологий пространственного анализа бакалаврами географических направлений для использования в географических исследованиях, гидрометеорологии, геоэкологии, в области рационального природопользования, управ-

ления и охраны окружающей среды. Применение современных информационных технологий обеспечивает переход географической науки к новым методам (прежде всего количественным) и технологиям анализа пространственно-временной информации о геосистемах.

В пяти разделах пособия «Основы геоинформатики» дано компактное изложение фундаментальных понятий геоинформатики, базовых геоинформационных технологий для работы с пространственно определенными данными, способами их организации в базы пространственных данных (базы геоданных), выполнения географического анализа и пространственного моделирования, а также картографического представления результатов применения таких технологий при решении тематических задач. Каждый из пяти разделов включает набор упражнений, технологически подобных, но различающихся по тематическому содержанию. Такая структура пособия и практикума обеспечивает учет практических интересов студентов разных направлений подготовки при выборе упражнения в компьютерном классе, а также дает материалы для самостоятельной работы.

Особое внимание уделено работе с моделями пространственных объектов и данных, созданию баз геоданных, освоению технологий изучения пространственных взаимосвязей объектов и явлений на основе векторных и растровых моделей данных.

Задача практикума – обеспечить знание основ общей теории баз данных, геоинформационных методов и технологий географического анализа, моделирования и картографического отображения с применением программных средств и интерфейса ГИС-пакетов; особенностей различных моделей и форматов данных, технологий ввода пространственных данных и организации запросов в ГИС. В результате выполнения заданий практикума студенты должны овладеть: техническими и программными средствами геоинформатики, технологиями обработки и отображения информации (географической, гидрометеорологической, экологической, социально-экономической), базовыми геоинформационными методами географического анализа и пространственного моделирования для исследования природных и социальных геосистем.

Авторы считают своим долгом выразить благодарность Институту исследования систем окружающей среды (Esri) и ООО ЭСРИ СНГ за предоставленное программное обеспечение в рамках программы поддержки вузов.

# Раздел 1

## ОСНОВЫ РАБОТЫ С ПРОСТРАНСТВЕННЫМИ ДАННЫМИ

### 1.1. Базовые понятия геоинформатики

*Геоинформатика* (GIScience, Geographical Information Science, Geoinformatics) – наука, технология и производственная деятельность по научному обоснованию, проектированию, созданию, эксплуатации и использованию географических информационных систем (ГИС), по разработке геоинформационных технологий и по приложению ГИС для практических или научных целей.

Термин *географическая информационная система* является дословным переводом с английского «Geographic(al) information system». Стандартно ГИС определяется как информационная система, обеспечивающая сбор, хранение, обработку, отображение и распространение пространственно определенных (пространственно-координированных) данных.

Аббревиатура «ГИС» используется также для обозначения *программных средств ГИС*, программных продуктов, ГИС-пакетов, обеспечивающих функционирование ГИС как информационной системы (ArcGIS, QGIS, MapInfo и др.).

*Основной метод геоинформатики – цифровое моделирование* для получения новых знаний о структуре, взаимных связях, динамике, эволюции объектов и явлений. Для изучения макромира геоинформатика использует технологии создания моделей пространственных объектов.

*Модели пространственных объектов* – цифровое (формализованное, абстрактное) представление реальных объектов в базе пространственных данных или, иначе, *цифровая модель объекта местности*. Пространственный объект может быть материальным или абстрактным объектом реального или виртуального мира и одновременно его цифровой моделью, отражающей информацию

о его местоположении и свойствах в наборах пространственных данных. В англоязычной терминологии для описания пространственного объекта используют разные термины: «spatial object» – объект реальности и «spatial feature» – цифровая модель объекта реальности.

Построение моделей объектов реальности – это процесс преобразования реального географического разнообразия в набор дискретных объектов (дискретизация). Способы дискретизации и описания пространственных данных соотносятся с методами выборочного обследования территорий. Плотность обследования определяет пространственное разрешение данных.

В основе таких моделей лежит разделение свойств объектов на две составляющих – позиционную (геометрия) и семантическую (атрибуты). Позиционная часть представляет местоположение и форму объектов в пространстве. Семантическая часть формируется из свойств объектов, которые интересны исследователю. Местоположение (или локализацию) реальных объектов обычно описывают в терминах геометрических образов, состоящих из точек, линий, плоских фигур, поверхностей и объемов. Эти образы, например точки, служат для представления объектов или явлений на земной поверхности, непрерывных в некоторой области в пространстве, и позволяют представить позиционную составляющую данных.

Описание свойств объектов соответствует непозиционной составляющей. По меньшей мере, одно атрибутивное описание объекта может включать его наименование, адресное описание, описание топологических отношений с другими объектами. Набор таких описаний определяется при разработке содержания базы геоданных.

Базовое цифровое описание пространственного объекта включает:

- идентификатор – уникальный номер, код, присваиваемый пользователем или назначаемый системой, фиксирующий уникальность каждого объекта в базе данных;
- указание местоположения (локализации), т. е. координатное описание;
- качественное или количественное описание множества свойств объекта (атрибутов).

Детальность геометрии и семантики объектов может быть разной, но всегда диктуется целью и масштабом исследования. Например, если необходимо определить количество островов в архипелаге, достаточно каждый из них представить в БГД точкой. Однако если искомой величиной является суммарная длина береговой линии, каждый остров необходимо представить в виде площадного объекта (многоугольника).

Модели представления географического пространства можно разделить на две категории: объектно-ориентированные и пространственно-ориентированные.

*Объектно-ориентированные модели* предназначены для описания географического пространства в терминах отдельных объектов. Порядок выделения объектов определенного размера и их характеристик определяется задачами и масштабом исследования. Объектно-ориентированный подход уместен для представления объектов географического пространства, обладающих определяемыми (возможно, нечетко) границами и относительным постоянством внутренних характеристик. Это могут быть как реальные объекты (реки, лес, населенные пункты), так и научные абстракции (например, районы, выделенные по определенному критерию).

*Пространственно-ориентированные модели* описывают распределение заданных характеристик в географическом пространстве. В противоположность объектно-ориентированному моделированию, пространственно-ориентированный подход имеет целью не выделение границ объектов, а описание каждой точки пространства с точки зрения выбранной характеристики. Такие модели хорошо подходят для представления явлений, меняющихся в пространстве непрерывным образом, различных полей: атмосферного давления, высот, потенциала поля расселения. Исходя из этого, пространственно-ориентированные модели можно назвать также *феномен-ориентированными*.

Объектно- и пространственно-ориентированные модели реализуются в ГИС на уровне моделей пространственных данных.

*Модели пространственных данных* отражают логические правила формализованного цифрового описания объектов реальности как пространственных объектов. Из цифровых представлений пространственных данных (которые и принято называть моделями пространственных данных) состоит база данных любой ГИС.

Традиционно различают две базовые группы моделей пространственных данных:

- векторные модели, подразделяемые на два типа – векторные топологические и нетопологические модели;
- растровые и регулярно-ячеистые модели.

*Векторная модель* – это описание пространственных объектов набором координатных пар, отражающих «геометрию» объектов и их пространственную локализацию.

Векторная модель используется для представления точечных, линейных и площадных объектов, обычно идентифицируемых в терминах координат (с этим фактом связано название «векторная модель»): местоположение точки описывается простым набором координат в двух- или трехмерном пространстве, линии – упорядоченным набором координат точек, область – границей, состоящей из одной или более замыкающихся линий. Такая модель реализует представление дискретных объектов в соответствии с объектно-ориентированной моделью отображения реальности.

Векторная модель хорошо подходит для представления топографических данных и границ объектов. Разновидностью векторной модели является *векторно-топологическая модель* данных, которая помимо геометрии описывает также взаимное расположение объектов – их *топологические отношения* («справа», «слева», «внутри», «примыкает» и т. п.).

*Растровая модель* – это представление пространственных данных, аппроксимирующее географическое распределение некоторого показателя (или показателей) объектов поверхности в виде матрицы ячеек конечного размера – растра. Ячейки растра именуются пикселями (pixel – от англ. «picture element»). Значения пикселей могут быть результатами измерений, вычислений или интерполяции. Растровые модели используют для описания и анализа данных, распределенных непрерывно на некоторой области в соответствии с моделью географических полей.

В *количественных растрах* показателем является некая величина, определяемая в каждой ячейке (как правило, осредняемая по площади ячейки). Наиболее распространенные примеры количественных растров – это цифровые космические снимки и цифровые модели рельефа (ЦМР).

В *категориальных (качественных) растрах* показателем является категория ячейки в соответствии с тем, какая географическая сущность наблюдается (или преобладает) в ее пределах. Например, топографическую карту можно представить в виде категориального растра. В этом случае каждая ячейка будет иметь класс в зависимости от того, покрывает ли она территорию, занятую лесом, водным объектом или зданием. Результат классификации растрового космического снимка также представляет собой категориальный растр.

*Регулярно-ячеистые модели* – формально схожие с растровыми; они создаются путем построения регулярной прямоугольной (гриды, GRID) или треугольной (триангуляция) сети элементов разбиения земной поверхности. Их построение в ГИС используют для задач географического анализа и моделирования непрерывных распределений данных.

Размер растра (пиксела) или ячейки сети определяет *пространственное разрешение данных* – их пространственную детальность, и позволяет оценить точность (достоверность) моделирования. Разрешение должно быть связано с масштабом представления данных или сложностью рисунка местности или карты.

Достоинство растровых моделей состоит в жесткой топологической структуре создаваемых данных: они покрывают пространство непрерывным образом, и для каждой ячейки известен набор соседних ячеек. Это делает их пригодными для моделирования динамических процессов (атмосферной циркуляции, поверхностного стока, миграционных процессов), в котором имитируется перемещение энергии, вещества или информации из ячейки в ячейку, что крайне затруднительно при использовании объектно-ориентированных моделей.

Совокупность данных о пространственных объектах, образует множество пространственных данных, организованных по определенным правилам, устанавливающим общие принципы описания, хранения и манипулирования данными, и составляет содержание *базы пространственных данных* (в терминологии Esri – база геоданных, БГД).

В основе организации пространственных данных в ГИС лежит *последовательное представление пространственных объектов в БГД* согласно их тематике, локализации и модели. Каждый слой пред-

ставляет один тип таких объектов (точечных, линейных или полигональных) или группу концептуально взаимосвязанных типов объектов. Например, слой может включать линейные объекты, представляющие только линии водотоков, или же водотоки, озера, береговую линию и болота. Возможно также объединение представлений всех объектов в один слой, подобный, например, физико-географической карте. Такое описание позволяет моделировать территорию путем наложения (*оверлея*) разных тематических «срезов» координатно-определенных данных.

Поскольку БГД являются частным случаем базы данных, для их управления используется специализированное программное обеспечение – системы управления базами данных (СУБД). В ГИС используются модели СУБД *реляционного типа*.

### **Базовые понятия реляционных баз данных**

Реляционные СУБД основаны на математических принципах, называемых реляционной алгеброй или алгеброй отношений, устанавливающих правила проектирования и функционирования таких систем. Реляционная алгебра основывается на теории множеств, вследствие чего каждая таблица функционирует как множество, поэтому, например, в ней не может быть двух одинаковых строк.

Основными понятиями реляционных баз данных являются: тип данных, отношение, кортеж (запись), атрибут, домен, первичный ключ, внешний ключ, нормализация.

Понятие *тип данных* полностью адекватно понятию типа данных в языках программирования. Обычно в реляционных БД допускается хранение символьных, числовых данных, битовых строк, специализированных числовых данных (таких, как «деньги»), а также специальных данных – дата, время, временной интервал.

*Отношение* – это таблица, образуемая упорядоченными записями каждого типа, заголовком которой является наименование отношения. Записи образуют строки или *кортежи*; каждая запись имеет набор *атрибутов*, а имена атрибутов именуют столбцы таблицы. Поэтому иногда говорят «столбец таблицы», имея в виду «атрибут отношения». Число атрибутов в таблице характеризует связь между записями – *степень отношения*.

*Ключом* отношения служит подмножество атрибутов, обладающее следующими свойствами: уникальность идентификации; зна-

чение ключа уникально для каждого кортежа; ни один из атрибутов ключа нельзя удалить, не нарушив его уникальности; ключ используется для обеспечения неизбыточности и целостности БД.

Объекту реального мира в реляционных БД соответствуют записи (строки) отношений, и требование целостности состоит в сохранении отличий разных записей этого отношения. Позиционная составляющая данных представляется в соответствующем поле таблицы описанием геометрии и доступна пользователю только через СУБД. Атрибутивные данные могут редактироваться. Поскольку строки (объекты) уникальны, то один из столбцов может использоваться для определения критерия поиска (формирования запроса). Такой критерий поиска (столбец) называется *первичным ключом* для поиска значений в других столбцах БД. Любое отношение должно обладать первичным ключом, иначе невозможно однозначно идентифицировать объекты.

Сложные объекты реального мира представляются в реляционной БД в виде нескольких записей нескольких отношений. Для связи отношений используется атрибут, который служит *внешним ключом*. Отношение, в котором определен внешний ключ, ссылается на соответствующее отношение, в котором такой же атрибут является первичным ключом. Иначе, таблицы атрибутов объектов, в которых есть одинаковые столбцы атрибутов (говорят: общий столбец), могут быть связаны (соединены) в одну таблицу. Требование целостности по ссылкам состоит в том, что для каждого значения внешнего ключа должна найтись запись с таким же значением первичного ключа в отношении, на которое ведет ссылка, либо значение внешнего ключа должно быть неопределенным. Выполнение таких требований чрезвычайно важно при модификации отношений или удалении записей.

*Нормализация* отношений – основной прием, используемый при создании реляционной модели данных, представляющий набор правил, по которым определяется вид таблиц. В процессе нормализации выделяются первичные ключи (или наборы ключей) и зависящие от них атрибуты.

Поиск объектов осуществляется по одному, а чаще совокупности атрибутов. Для быстрого и оптимального поиска строится так называемый *внешний индекс*. Следует подчеркнуть, что как бы не были организованы индексы в используемой СУБД, их основ-

ное назначение состоит в обеспечении эффективного прямого доступа к кортежу отношения по ключу.

Язык для взаимодействия с БД ориентирован главным образом на удобную и понятную пользователям формулировку запросов к реляционной БД. Стандартным языком реляционных СУБД является язык SQL (Structured Query Language). Компилятор языка SQL производит преобразование имен объектов в их внутренние идентификаторы на основании специально поддерживаемых служебных таблиц-каталогов. Специальные операторы языка SQL позволяют определять так называемые представления БД, фактически являющиеся хранимыми в БД запросами (результатом любого запроса к реляционной БД является таблица) с именованными столбцами. Для пользователя представление является такой же таблицей, как любая базовая таблица, хранимая в БД. Для выполнения операторов SQL разного вида пользователь должен обладать различными правами доступа к БД. Двумя фундаментальными языками запросов к реляционным БД, используемыми для управления поиском данных, осуществления множественных запросов, являются языки реляционной алгебры и реляционного исчисления. К реляционной алгебре относят операции:

- реляционная выборка (selection) – создание новой таблицы как подмножества исходной;
- реляционное соединение (union) – комбинирование записей двух таблиц без их дублирования; позволяет объединять таблицы с разным числом записей (связь типа N:M) с наличием пустых ячеек в объединенной таблице;
- реляционное слияние (join) – создание новой таблицы, поля которой скомбинированы из двух других, используя общее поле для связи (связь 1:1 или N:N).

Часто при применении операции реляционного соединения объединенную таблицу не создают, а применяют так называемое связывание таблиц (link).

Базовые операторы языка запросов – SELECT (выбрать), FROM (из), WHERE (где). Набор операторов SQL предназначен для встраивания в программу на обычном языке программирования, использующем свои операторы работы с указателями, обеспечивающими построчный доступ к таблице – результату запроса, к формам интерфейса и т. п. Запросы на языке SQL до реального выполне-

ния подвергаются компиляции. Самый общий вид запроса на языке SQL представляет теоретико-множественное алгебраическое выражение, составленное из элементарных запросов. Поскольку большинство пользователей ГИС не владеют программированием, многие разработчики программного обеспечения стали предоставлять возможность составления сложных запросов без программирования – с использованием так называемых «query by example (QBE)» – запросов по образцу. Пользователь выбирает указателем мыши нужные атрибуты, условия выбора из предлагаемого списка, операции и логические условия и получает результат. Все возможные способы индексации данных существенно сокращают время поиска информации и время запроса.

В ArcGIS атрибуты объектов подразделяются на системные атрибуты, поддерживаемые СУБД, и определяемые пользователем. К системным атрибутам относятся обязательные атрибуты объектов: ObjectID – уникальный идентификатор, Shape – указывает тип геометрии, Shape\_Length – периметр для линейных и площадных объектов и Shape\_Area – площадь для полигональных объектов.

Основопологающая проблема создания ГИС – представление в них реального мира на основе пространственно определенной информации в виде цифровой модели (наборов данных) или образно-знаковой модели (карт).

Важно понимать различия этих представлений. Набор слоев объектов в базе пространственных данных сам по себе картой не является. Карта – представление реального мира, производное от данных. Результат отображения пространственных объектов на экране компьютера – это *электронная карта*. Электронным картам свойственны те же атрибуты, что и традиционным бумажным произведениям: масштаб, система координат и картографическая основа, легенда, надписи и условные знаки и т. д. Базы пространственных данных, в отличие от карт, характеризуются не масштабом, а детализацией данных. Система координат (проекция) карты может как соответствовать системе координат слоев базы данных, так и отличаться от них. Это может быть как географическая система координат ( $\varphi$ ,  $\lambda$ ), либо проектированная ( $x$ ,  $y$ ). Одно из важнейших отличий ГИС-пакетов от графических заключается в возможности трансфор-

мирования и наложения данных в различных проекциях и системах координат.

В интерактивной системе экран может отображать ограниченный объем информации, но обеспечивает доступ к другим данным. Выделяя или выбирая указателем мыши какой-либо объект на карте, пользователь получает доступ к длинному текстовому описанию; доступ к атрибутам объекта не лимитирован ограничениями дисплея.

Умения правильно выбрать модель для пространственных объектов, оперировать ее геометрической и атрибутивной составляющей, визуализировать их – являются базовыми навыками, которые необходимы любому географу для успешного овладения методами геоинформатики и геоинформационного картографирования.

## **1.2. Задание практикума**

### ***Цель***

Задание посвящено знакомству с моделями пространственных данных, овладению навыками представления площадных, линейных, точечных объектов в структуре базы пространственных данных, а также геоинформационными технологиями создания тематических карт на основе баз пространственных данных – компоновки карты, оформления легенды, построения сетки координат и зарамочных элементов карты. Одна из основных задач упражнений задания – освоение различных способов картографического изображения и их применения при составлении карт соответствующего тематического содержания.

### ***Необходимые знания***

Модели пространственных данных

Модели пространственных объектов

Базы пространственных данных

Картографические проекции

Способы картографического оформления

Понятия компоновки карты (документы, графики, текст для создания карты)

Конструирование компоновки карты (цель, пользователи, элементы карты)

Основные инструменты интерфейса ArcGIS Desktop

### ***Ключевые слова***

Модели пространственных данных, модели пространственных объектов, базы пространственных данных, классы пространственных объектов, визуализация пространственных данных, способы картографического изображения, геоинформационное картографирование.

## **1.3. Упражнения**

### **Основы хранения и визуализации пространственных данных**

#### **Обязательные процедуры:**

1. Ознакомьтесь с регламентом практикума.
2. Скопируйте папку *Ex1* с сервера в каталог под своей фамилией.
3. Откройте приложение *Пуск – Программы – ArcGIS – ArcMap*.

*ArcMap – основное приложение ArcGIS, предназначенное для редактирования и анализа данных, создания новых объектов и оформления карт.*

4. Откройте окно *Catalog*, нажав желтую кнопку на панели инструментов.

*Catalog (Каталог) – файловый менеджер для управления пространственными данными. Его задачи в чем-то аналогичны Проводнику в Windows или Finder в Mac OS X: создание, копирование, удаление и т. д., но видит он только файлы форматов, которые можно использовать в ArcGIS.*

5. В окне *Catalog*, используя навигацию по дереву каталогов, найдите папку со скопированным упражнением *Ex1*.

#### **Исследование данных о пространственной привязке**

1. Откройте базу данных *Satino.gdb*, находящуюся в директории *Ex1*. Она создана в формате *File Geodatabase* (файловая база геоданных).

Внутри базы геоданных могут находиться три типа данных:

- слои векторных данных (классы пространственных объектов),
- слои растровых данных,
- обычные таблицы.

Для исследования будут использованы два слоя: один содержит точки наблюдений скорости течения р. Протвы, другой – представление реки на меженный уровень в виде площадного объекта. Съёмка точек производилась GPS-приемником, координаты измерены в виде геодезических широт и долгот на эллипсоиде WGS-1984. Береговая линия реки получена с топографического плана и сохранена в проекции UTM, координаты точек границы представлены семизначными числами в метрах.

***Как совместить эти два слоя, чтобы составить карту фактического материала?***

*(Необходимо преобразовать координаты одного слоя в систему координат другого слоя: либо в метры в проекции UTM, либо в градусы на эллипсоиде WGS-1984.)*

2. Дважды щелкните на слое *WaterPolygon* в группе *General* и перейдите на вкладку *XY Coordinate System*.
3. Найдите строку *Projection*.

***В какой проекции хранятся координаты?***

*(Вспомните, что проекции обладают разными искажениями. В частности, проекция Меркатора вытягивает приполярные объекты вдоль меридианов, следовательно, величины плоских прямоугольных координат зависят от того, какая проекция используется.)*

4. Найдите строку *Linear Unit*.

***В каких единицах измерения записаны координаты в проекции слоя WaterPolygon?***

*(Это могут быть градусы, метры, футы (в США) и т. д.)*

5. Откройте свойства слоя *HydroMeasures*, находящегося в корне базы геоданных. Этот слой хранится в *Географической системе координат (ГСК)* – широтах и долготах, отнесенных к эллипсоиду *WGS-1984*, т. е. у него нет проекции.
6. Закройте свойства слоя *HydroMeasures*.

7. Перенесите в таблицу содержания слой *WaterPolygon* из группы *General*.
8. Обратите внимание на то, что слой добавился под названием *Гидрография (полигоны)*. У него есть русскоязычный псевдоним (*alias*), который можно задать в свойствах слоя в *Catalog*.
9. Добавьте в таблицу содержания слой *HydroMeasures*.  
***Обратите внимание на то, что слои совместились, несмотря на то, что у них различные системы координат!***
10. Откройте панель инструментов *Tools* (инструменты), щелкнув правой кнопкой мыши вверху окна и выбрав ее из списка.
11. Изучите возможности инструментов навигации панели *Tools*: увеличить/уменьшить и переместить. Обратите внимание на то, как будет меняться масштаб вверху в узком окне.  
*Для быстрого доступа к инструментам увеличить, уменьшить и переместить можно использовать клавиши Z, X и C, соответственно.*
12. Выберите инструмент идентификации *Identify* и щелкните мышью на любом объекте, либо растяните прямоугольник вокруг объектов.  
***Какую информацию позволяет узнать инструмент идентификации?***
13. Откройте атрибутивную таблицу слоя Гидрография (полигоны), щелкнув на нем правой кнопкой мыши и выбрав команду *Open Attribute Table*.
14. Найдите поля *Shape\** и *ObjectID\**.  
*Звездочка (\*) рядом с названием поля означает, что для него внутри базы данных построен индекс – вспомогательная таблица, позволяющая быстро находить объекты по их атрибутам или местоположению. В зависимости от типа поля, для которого построен индекс, различают атрибутивный и пространственный индексы.*
15. В поле *ObjectID* хранится уникальный идентификатор каждого объекта. Он нужен системе для того, чтобы каждый объект можно было однозначно найти по задаваемому критерию.

16. В поле *Shape* (вспомните, что слой полигональный) хранится список координат вершин полигона. Геометрия объектов редактируется специальными инструментами, поэтому содержимое поля *Shape* скрыто от пользователя.
17. Закройте атрибутивную таблицу.

### **Изучение способов изображения**

1. Удалите из таблицы содержания слой *HydroMeasures* и добавьте слой *QDeposit* (четвертичные отложения). Переместите его вниз списка мышкой и дважды щелкните на нем.
2. Откройте меню *Layer properties* (Свойства слоя) и перейдите на вкладку *Symbology*. Здесь представлены многие известные способы картографического изображения.
3. Внимательно изучите список способов изображения слева. Они разделены на группы: *Features* (единый символ), *Categories* (качественные характеристики, качественный фон), *Quantities* (количественные характеристики), *Charts* (картодиаграммы), *Multiple Attributes* (способы изображения по нескольким атрибутам). Разверните каждую группу и щелкните на каждом способе. Сопоставьте их с традиционной классификацией способов изображения.
4. Определите способы изображения, основываясь на вспомогательных иллюстрациях. Обсудите их с преподавателем.

### **Упражнение 1. Технологии работы с пространственными данными для физико-географического картографирования**

#### ***Задачи***

Изучение представления площадных, линейных, точечных объектов в базе пространственных данных, добавление слов БГД на карту, формирование компоновки карты четвертичных отложений Сатинского полигона, включая легенду, сетку координат и зарамочные элементы карты.

#### ***Исходные данные***

База данных ГИС «Сатино».

#### ***Результат***

Компоновка тематической карты четвертичных отложений Сатинского учебного полигона масштаба 1:30 000.

## Изучение слоев БГД

База пространственных данных для выполнения упражнения, созданная в формате *File Geodatabase* (файловая база геоданных) – *Satino.gdb* – находится в директории *Ex1*.

Изучите ее содержание и определите, какие объекты относятся к перечисленным типам:

- слои векторных данных (классы пространственных объектов),
- слои растровых данных,
- обычные таблицы.

## Изучение способов картографического изображения слоев БГД

1. Скопируйте папку *Ex1* с сервера в каталог под своей фамилией.
- 2 Запустите приложение *ArcMap*.
3. В окне *Catalog* откройте базу данных *Satino.gdb*, находящуюся в директории *Ex1*.
4. Добавьте слой *QDeposit* (четвертичные отложения). Перетащите его вниз списка и дважды щелкните на нем.
5. Перейдите на вкладку *Symbolology*. Внимательно изучите группы способов изображения (*Features*, *Categories*, *Quantities*, *Charts*, *Multiple Attributes*). Разверните каждую группу и щелкните на каждом способе. Сопоставьте их вспомогательные иллюстрации с традиционной классификацией способов изображения.

***Четвертичные отложения показываются качественным фоном. В ArcGIS этот способ изображения называется Categories (категории).***

6. Выберите пункт *Categories* в списке слева, и в нем же выберите режим *Unique values* (уникальные значения). Вверху появятся два списка: поле *Value Field*, из которого необходимо выбрать «уникальные значения», и «цветовая шкала».
7. Выберите поле *Отложения* в списке *Value Field*, и нажмите внизу диалога кнопку *Add All Values*. Программа просканирует все строки атрибутивной таблицы, найдет уникальные значения, которые в ней есть, и подставит их в список. В крайнем правом поле отображается количество объектов каждого уникального значения.

**Обратите внимание на то, что типам объектов были автоматически присвоены символы из той цветовой шкалы, которая выбрана справа сверху.**

8. Снимите галочку *<all other values>*, расположенную сверху списка.
9. Разверните список цветowych шкал *Color Ramp* и выберите любую другую на свой вкус. Цвета объектов в легенде автоматически поменяются.

Однако необходимо помнить, что существуют официальные и неофициальные договоренности относительно цветов, используемых на геологических, геоморфологических, почвенных, геоботанических картах. Можно задать каждому типу индивидуально тот цвет, который требуется. Более того, можно сохранить набор цветов как шкалу.

10. Щелкните дважды на любом символе в легенде. Появится диалог настройки символа, в котором можно поэкспериментировать с выбором.

11. Закройте диалог настройки символа и нажмите *OK* в диалоге свойств слоя.

Теперь слой «Четвертичные отложения» показан методом качественного фона с использованием цветов, которые были назначены каждому типу.

## **Подписи**

В предыдущем разделе рассматривались возможные способы изображения, в том числе типов рельефа методом качественного фона. Однако карты без подписей встречаются крайне редко. Если в таблице слоя есть поле со значениями, которые надо вынести в качестве подписей, это делается автоматически.

1. Убедитесь, что включен механизм расстановки подписей *Maplex* – в панели инструментов *Labeling* стоит соответствующая галочка.
2. Откройте снова свойства слоя «Четвертичные отложения» и перейдите на вкладку *Labels*.
3. Отметьте галочкой опцию *Label features in this layer*, которая включает подписи для слоя.
4. В поле *Label Field* выберите значение *Индекс*. Подписи будут браться из этого поля. Рядом расположены элементы настройки шрифта, с которыми можно поэкспериментировать.

5. Нажмите кнопку *Placement Properties*. Открывающийся диалог позволяет настроить размещение подписей относительно самих объектов. Это очень функциональный инструмент, который управляет множеством нюансов расстановки подписей.
6. В диалоге *Placement Properties* нажмите кнопку *Position* и для изучения возможных вариантов примените их для размещения подписи. После этого верните способ, устанавливаемый по умолчанию – горизонтально внутри.
7. Закройте все диалоговые окна, последовательно нажимая кнопку *OK* в каждом из них.
8. Нажмите кнопку на панели *Tools*, чтобы вся карта уместилась в окне просмотра.

***Обратите внимание, что на вашей карте все объекты подписаны одинаково. Если требуется, чтобы подписи объектов были разными в зависимости от типа объекта, на вкладке *Labels* свойств слоя необходимо сменить режим *Label all the features the same way* на режим *Define classes...* и произвести настройку.***

## **Компоновка карты**

Для подготовки карты к печати, снабдив ее заголовком, масштабом, легендой и градусной сеткой, используется режим компоновки.

1. Выберите пункт меню *View–Layout View*. Приложение *ArcMap* перейдет в режим компоновки.
2. Откройте панель инструментов *Layout*, обеспечивающих формирование изображения в режиме компоновки.
3. Откройте меню *Insert* и изучите его содержание.

***Обсудите с преподавателем, какие элементы компоновки можно создать.***

4. Вставьте текст названия карты: нажмите *Insert–Title* и в появившемся диалоге введите «Карта четвертичных отложений». Сместите название в угол листа.
5. Вставьте легенду (*Insert–Legend*). Добавьте в неё только слой четвертичных отложений. Разберитесь самостоятельно с мастером создания легенды.

**Настройка легенды разнесена на несколько диалоговых окон. Изучите назначение каждого из них. Обсудите их с преподавателем.**

6. Создайте сетку прямоугольных координат. Для этого дважды щелкните на заголовке фрейма данных *Layers*, открыв его свойства, и перейдите на вкладку *Grid*.  
*Сетка прямоугольных координат строго привязана к местоположению самой карты, поэтому она является ее свойством.*
7. Нажмите кнопку *New\_Grid*.  
**Обратите внимание, что в диалоге появятся три типа возможных сеток. Чем они отличаются? Обсудите их с преподавателем.**
8. Выберите режим *Measured Grid*, который позволяет создать сетку в плоских прямоугольных координатах. Изучите содержание каждого последующего диалога, но параметры оставьте по умолчанию.
9. Нажмите *OK* в свойствах фрейма данных. Теперь поверх карты должна отображаться сетка прямоугольных координат.
10. Разместите на карте линейный масштаб в метрах.
11. Сохраните карту как документ *ArcGIS* под названием *Ex1.mxd*, используя команду меню *File-Save as*.

## **Редактирование атрибутов**

Атрибуты – важная составляющая пространственных данных. На их основе выполняется визуализация данных, они участвуют в большинстве операций пространственного анализа. Поэтому необходимо владение техникой их создания, редактирования и использования.

Редактирование атрибутов может понадобиться при заполнении полей атрибутивной таблицы для новых объектов, исправлении ошибок и заполнении пустых значений.

1. Переключитесь снова в режим *View-Data View*.
2. Добавьте на карту слой *WaterLine* (линейные объекты гидрографии).
3. Исправьте символ слоя на голубую линию толщиной 1,5 пиксела, чтобы он лучше читался на карте.
4. Включите подписи по полю *RiverName* на вкладке *Labels*,

задайте им синий цвет, криволинейное размещение и нажмите *OK* в диалоге свойств слоя.

### ***Появились ли подписи ручьев?***

По всей видимости, с полем *RiverName* что-то не в порядке. Проинспектируйте атрибутивную таблицу.

5. Нажмите клавишу *Ctrl* и дважды кликните на названии слоя *Гидрография (линии)*. Откроется его атрибутивная таблица.  
*(Таблицу также можно открыть через контекстное меню слоя, выбрав пункт *Open Attribute Table*. Свойства слоя также доступны из пункта *Properties* в контекстном меню. Однако вариант с двойным нажатием более быстрый и удобный.)*

Похоже, что создатель слоя забыл внести в него названия водотоков. Следует исправить этот недочет.

6. Переместите таблицу в нижнюю часть окна, чтобы она не загромождала карту.
7. Выделите в таблице содержания слой *Гидрография (линии)* и в его контекстном меню выберите пункт *Edit Features – Start Editing*. Включится режим редактирования, который позволяет вручную править атрибуты и геометрию объектов, и появится панель редактирования *Editor*.
8. Чтобы не выделять лишних объектов, в контекстном меню слоя *Гидрография (линии)* выберите пункт *Selection – Make this the only selectable layer*.
9. Воспользуйтесь в панели *Editor* инструментом выбора (стрелка) и выделите им ручей Язвицы (на севере полигона). Он автоматически подсветится в таблице. Введите название ручья в ячейку поля *RiverName*.
10. Найдите на карте Чолоховский ручей (на юге полигона), выделите его и в контекстном меню выберите пункт *Attributes*. Откроется окно редактора атрибутов – это еще один способ редактирования таблицы, ориентированный на индивидуальную работу с каждым объектом.
11. Найдите поле *RiverName* и введите название выбранного ручья.
12. Завершите редактирование, выбрав на панели редактора пункт меню *Editor–Stop Editing*. В появившемся диалоге нажмите *OK*.

## ***Появились ли теперь подписи ручьев Язвицы и Чолоховский?***

13. Сохраните документ карты в ваш отчетный файл и положите его в сетевую папку преподавателя.

### **Создание и вычисление атрибутов (дополнительно)**

Поля можно не только заполнять вручную, их можно вычислять и копировать значения из других полей. Но для начала необходимо научиться их создавать.

Предположим, что бригада топографов произвела съемку границы леса в целях ее сравнения с данными 10-летней давности. Чтобы построить карту границы леса и совместить ее с другими данными, необходимо знать координаты опорных геодезических пунктов, которые использовались при плано-высотном обосновании. Координаты этих пунктов есть в базе геоданных *Satino.gdb*.

1. Добавьте на карту слой *GeoPoints* (геодезические пункты).
2. Смените через свойства слоя значок на белый треугольник с точкой посередине (он есть в библиотеке значков).
3. Откройте атрибутивную таблицу слоя.

#### ***Есть ли координаты точек в таблице слоя Геодезические пункты?***

Координаты объектов точечного слоя можно вводить в числовое поле. Для этого создадим два поля *X* и *Y*.

4. Выберите в окне таблицы пункт меню *Table Options – Add Field*.
5. В диалоге введите *X* (латиницей) в название поля *Name*.
6. Теперь необходимо задать тип поля. Раскройте ниспадающий список *Type*.

#### ***Какой тип должно иметь поле для хранения координат геодезических пунктов и почему? Обсудите с преподавателем все варианты, которые есть в списке, и случаи, когда их необходимо использовать.***

7. Установите тип поля *Float*. Остальные параметры оставьте по умолчанию. Нажмите *OK*.
8. Повторите операции пунктов 4–7, создав поле *Y*.
9. Нажмите правой кнопкой мыши на заголовке поля *X* и выберите в контекстном меню *Calculate Geometry*.

10. В появившемся диалоге из выпадающего списка выберите величину *X Coordinate of Point* и единицы измерения *Meters*.

***Обратите внимание, что инструмент Calculate Geometry позволяет вычислять координаты не только в проекции данных (data source), но и в проекции карты (data frame).***

11. Нажмите *ОК*.

12. Повторите вычисление координаты для поля *Y*.

***Какого порядка величины получились в полях X и Y? Вспомните, куда направлена ось X в проекции UTM/Гаусса–Крюгера. Нет ли здесь противоречия?***

*(В ArcGIS используется стандартная система плоских прямоугольных координат, в которой ось X направлена на восток, а ось Y – на север. То же самое касается проекций Гаусса–Крюгера и UTM.)*

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 2. Технологии работы с пространственными данными для общегеографического картографирования**

### ***Задачи***

Координатная привязка растровых карт природных зон и туристического маршрута по территории Швейцарии; их цифрование с целью создания векторных слоев данных в новой базе геоданных и составление туристской карты, показывающей прохождение маршрута по разным природным зонам.

### ***Исходные данные***

Картографическая база данных на территорию Швейцарии.

### ***Результат***

Компоновка общегеографической карты Швейцарии в масштабе 1:1 750 000.

### **Изучение слоев БГД**

База геоданных *MapData.gdb*, содержащая исходные данные для выполнения упражнения, находится в каталоге *Ex2*. Изучите

ее содержание и определите, какие объекты относятся к перечисленным типам:

- слои векторных данных (классы пространственных объектов),
- слои растровых данных,
- обычные таблицы.

#### Векторные слои базы данных *MapData.gdb*

Airports	Аэропорты
Borders	Границы
Cities	Города
Countries	Страны
Frame	Рамка (фрейм)
Heights	Высотные отметки
Lakes	Озера
Railroads	Железные дороги
Rivers	Реки
Roads	Дороги
Snow	Ледники и снежники
Urban Areas	Урбанизированные территории

#### Растровые слои базы данных *MapData.gdb*

Elevation	Высоты рельефа
Hillshade	Отмывка рельефа

Запустите приложение *ArcMap* и откройте окно *Catalog*, подключитесь к рабочему каталогу *Ex2* в этом окне, раскройте базу данных *MapData.gdb* и изучите ее содержимое:

### Оформление изображения рельефа

1. Добавьте на карту слой *Elevation* из базы данных *MapData.gdb*.
2. Откройте меню *Layer properties* (Свойства слоя) и перейдите на вкладку *Symbolology*, изучите список способов изображения слева. Разверните каждую группу и щелкните на каждом способе. Сопоставьте их с традиционными способами картографического изображения.
3. Войдите в диалоговое окно свойств слоя (*Properties*) и в настройках оформления растрового слоя установите способ градиентной окраски со следующими параметрами:

Шкала	Surface
Растяжка гистограммы	Минимум-Максимум (Minimum-maximum)

4. В закладке *Display* установите параметр передискретизации растра (*Resample*) в режим кубической свертки (*Cubic Convolution*).
5. Наложите представление рельефа способом отмывки поверх гипсометрической окраски. Чтобы видеть оба растровых представления нужно для верхнего слоя установить параметр прозрачности. Для этого добавьте на карту слой отмывки *Hillshade* и установите для него следующие параметры:

Прозрачность	50%
Режим передискретизации	Кубическая свертка

6. Сохраните документ карты в каталог *Ex2* под названием *Ex2\_<Фамилия>*.  
Остальные параметры оставьте по умолчанию.

### **Оформление векторных слоев с использованием единого символа**

Добавьте на карту и оформите все векторные слои, содержащиеся в базе данных *MapData.gdb*, кроме слоя *Countries*. Для изображения каждого слоя выберите единый символ. Обратите внимание на появляющийся слева внизу образец оформления выбранным способом. Учтите, что:

- слой *Snow* располагается между представлениями ЦМР отмывкой и цветовой окраской рельефа; это позволяет показать заснеженные территории, но при этом сохранить светотеневую пластику изображения;
- при выборе значка для аэропорта следует воспользоваться поиском по символам, набрав ключевое слово «airport».

### **Создание подписей**

- Установите вручную масштаб карты равным 1:1 750 000.
- Включите опцию *Maplex* для размещения подписей и переведите его в режим *Best*.

- Создайте подписи для слоев *Cities*, *Heights*, *Rivers*, *Lakes* со следующими параметрами:

### *Cities*

Шрифт	Calibri
Размер	10
Цвет	Черный
Начертание	Обычный
Размещение	По умолчанию

### *Heights*

Шрифт	Calibri
Размер	7
Цвет	Серый 80%
Начертание	<i>Курсивный</i>
Размещение	По умолчанию

### *Rivers*

Шрифт	Calibri
Размер	10
Цвет	Синий Dark Navy
Начертание	<i>Курсивный</i>
Размещение	Regular Placement – Offset Curved

### *Lakes*

Шрифт	Calibri
Размер	8
Цвет	Синий Dark Navy
Начертание	<i>Курсивный</i>
Размещение	Regular Placement – Curved

## **Классификация населенных пунктов**

Недостатком полученной карты является то, что все населенные пункты показаны одинаково. Чтобы исправить это, необходимо разделить их по категориям численности населения, выполнив следующие операции:

1. В диалоге настройки символов слоя включите режим отображения *Categories (unique values)*, используя значения поля таблицы атрибутов слоя *Население\_диапазон*. В таблице появятся классы численности населения.
2. Отсортируйте классы численности по возрастанию, используя стрелочки.
3. Настройте размер кружка таким образом, чтобы его диаметр менялся от 3 до 7 пунктов.
4. Перейдите на вкладку *Labels* и установите режим отображения нескольких классов.
5. Импортируйте список классов в список подписей, используя кнопку *Get Symbol Classes*.
6. Настройте подписи следующим образом:
  - шрифт *Calibri* черного цвета,
  - размер шрифта должен увеличиваться от первого класса численности населения (менее 10 000) до последнего (250 000–500 000) от 8 до 12 пунктов,
  - шрифт подписей городов с численностью выше 100 000 человек должен быть жирным.

### **Маскирование объектов и подписи стран**

1. Добавьте на карту слой *Countries* и расположите его между слоями *Hillshade* и *Snow*.
2. Настройте отображение слоя способом *Categories (unique values)* по полю *Name*.

Цвет заливки	Швейцария – нет заливки Остальные страны – серый, 50%
Цвет обводки	Нет
Прозрачность слоя	50%

3. Установите следующие параметры отображения:
4. Включите подписи стран по полю *Name*, используя следующие параметры:

Шрифт	Garamond
Размер	24
Цвет	Коричневый/Бордовый
Начертание	Обычный
Размещение	
Позиция	Тип – <i>Land Parcel Placement</i> ; Растягивать ( <i>Spread Characters</i> )
Плотность размещения	Подписывать только крупнейшую часть ( <i>Label largest feature part</i> )
Разрешение конфликтов	Никогда не удалять ( <i>Never Remove</i> )

### Формирование компоновки карты

1. Переключитесь в вид компоновки.
2. Задайте макет листа следующим образом:
  - размер страницы – А4.
  - ориентация изображения – Альбомная.
3. Подгоните размер фрейма данных таким образом, чтобы карта оказалась в верхней части листа.
4. Установите масштаб равным 1:1 750 000.
5. Используя настройки компоновки по умолчанию, вставьте легенду, включив в нее все слои, *кроме Elevation, Countries и Hillshade*.
6. Измените название показателя для слоя *Cities* на «Число жителей», уменьшите размер шрифта до 9 и сделайте его курсивным.
7. Уменьшите размер шрифта для стиля названия слоя *Cities* до 10 пунктов.
8. Переименуйте имена всех слоев в таблице содержания на русскоязычные в соответствии с таблицей в начале упражнения. Обратите внимание на то, что в легенде они переименуются автоматически.
9. Переименуйте заголовок легенды на русский язык.
10. Увеличьте интервал между позициями слоев в легенде до 10 пунктов.
11. Внесите на карту координатную сетку типа *Graticule* с шагом 1° по широте и долготе. Отключите для градусной сетки показ минут и секунд.

12. Поместите название карты над картой по центру, используя следующие параметры:

Шрифт	Arial
Размер шрифта	16
Начертание	Полужирный
Разрядка букв	10 пунктов

13. Вставьте *километровую* масштабную линейку по предлагаемым образцам, чтобы завершить оформление карты.

### **Экспорт карты в графический файл**

1. Экпортируйте карту из режима компоновки в формат .png с разрешением 300 точек на дюйм.
2. Сохраните карту в файле отчета и выйдите из *ArcMap*.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 3. Технологии работы с пространственными данными для гидрометеорологического картографирования**

### **Задачи**

Изучение представления площадных, линейных, точечных объектов в базе пространственных данных, создание классов пространственных объектов в БГД, добавление слов БГД на карту, настройка подписей объектов на мелкомасштабных картах, формирование компоновки климатической карты, включая легенду, сетку координат и зарамочные элементы карты.

### **Исходные данные**

Климатические пояса по Алисову (полигональный слой), границы морей и океанов *IHO (International Hydrographic Organization)*, направления основных течений *OSCAR (Ocean Surface Current Analyses – Real time)*, крупнейшие мировые реки и озера, города (данные *ESRI*).

### **Результат**

Компоновка тематической карты «Климат и основные объекты гидросферы» масштаба 1:90 000 000.

## Изучение слоев БГД

База геоданных *MapData.gdb*, содержащая исходные данные для выполнения задания, находится в каталоге *Ex3*.

1. Запустите приложение *ArcMap* и откройте окно *Catalog*, нажав кнопку на панели инструментов.
2. Раскройте папку *D:\GIS* в дереве каталогов и найдите в ней директорию *\Ex3\* в вашем каталоге, содержащую исходные данные для выполнения задания. Если директории *D:\GIS* нет в списке, подключитесь к ней.
3. Раскройте базу данных *MapData.gdb* и изучите ее содержимое.

Внутри базы геоданных могут быть объекты следующих типов:

- слои векторных данных (классы пространственных объектов),
- слои растровых данных,
- обычные таблицы.

**Какие объекты образуют класс пространственных объектов (feature class)?**

Классы объектов базы данных *MapData.gdb*

Cities	Города
Climates	Климатические зоны
Coast	Побережье
Countries	Страны
Currents	Данные о течениях
Lakes	Озера
Rivers	Крупнейшие реки
Seas	Моря

**К какому типу геометрии относятся указанные классы?**

4. Дважды щелкните на слое *Climates* и перейдите в его свойствах на вкладку *XY Coordinate System*.

Внимательно прочитайте информацию. Слой хранится в *Географической системе координат (GCS)*, отнесенной к эллипсоиду WGS-1984. Это означает, что координаты каждого объекта хранятся в значениях широты и долготы. Такой слой всегда можно спроецировать в любую проекцию, при этом координаты будут представлены в метрических единицах, а система координат получит название *Проецированной системы координат (PCS)*.

## Оформление слоев

1. Добавьте на карту слой *Countries*, перетащив его мышкой из окна каталога.
2. Дважды щелкните на названии слоя *Countries* и перейдите на вкладку *Symbolology*.
3. Внимательно изучите группы способов изображения (*Features, Categories, Quantities, Charts, Multiple Attributes*). Разверните каждую группу и щелкните на каждом способе. Сопоставьте их вспомогательные иллюстрации с традиционной классификацией способов изображения.
4. Выберите способ единого символа (*Features – Single symbol*).
5. Щелкните на кнопке с изображением символа и измените оформление следующим образом:

Цвет заливки ( <i>Fill Color</i> )	Без заливки
Цвет обводки ( <i>Outline Color</i> )	Серый 50%
Толщина обводки ( <i>Outline width</i> )	0,5

6. Измените проекцию карты на проекцию Робинсона (*Robinson*). Ее можно найти в группе *Projected Coordinate Systems – World*. Обратите внимание на то, как изменятся формы объектов.
7. Добавьте на карту слой *Coast*, расположите его поверх слоя *Countries* и измените цвет линии на *Delft Blue*.
8. Добавьте на карту слой *Rivers*, расположите его поверх слоя *Coast* и измените цвет линий рек на *Delft Blue*, а толщину укажите равной 0,5 пиксела.
9. Добавьте на карту слой *Lakes*, расположите его поверх слоя *Rivers* и измените его оформление следующим образом:

Цвет заливки	Sodalite Blue
Цвет обводки	Delft Blue
Толщина обводки	0,5

10. Сохраните карту в своей директории *Ex3*.
11. Добавьте на карту слой *Cities*, расположите его поверх слоя *Lakes* и измените его параметры следующим образом:

Символ	Circle 1
Цвет	Черный
Размер	4

12. Добавьте на карту слой *Seas*, расположите его внизу таблицы содержания и измените его параметры следующим образом:

Цвет заливки	Нет заливки
Цвет обводки	Серый 50%
Толщина обводки	0,5
Прозрачность	50%

13. Добавьте на карту слой *Climates*, расположите его внизу таблицы содержания.
14. Откройте таблицу атрибутов слоя *Climates*, щелкнув на его названии правой кнопкой мыши и выбрав команду *Open Attribute Table*. Найдите в ней столбец *Type*, просмотрите его значения. Это поле таблицы хранит информацию о типе климата для каждой области и будет использоваться для классификации при отображении слоя.
15. Найдите поля *Shape\** и *ObjectID\**.

**Что хранится в этих полях?**

16. Климатические пояса показываются на картах способом *качественного фона*, поэтому оформление слоя *Climates* нужно изменить следующим образом:

Тип визуализатора	Категории – Уникальные значения
Поле классификации	<i>Type</i>
Сортировка значений	От арктического к экваториальному
Цвета полигонов	Традиционные цвета климатических поясов (выберите вручную)
Обводка полигонов	Нет обводки
Показывать остальные значения	Нет

17. Добавьте на карту слой *Currents*, расположите его поверх слоя *Climates*. Этот слой содержит данные о течениях *OSCAR* (*Ocean Surface Current Analyses – Real time*), осредненные за период с 1993 по 2003 год.

*Течения относятся к векторным полям. Существует множество способов визуализации векторных полей. В картографии распространен способ гра-*

диентного поля, при котором стрелки размещаются по регулярной сетке, их поворот соответствует направлению векторного поля в точке, а длина – скорости. Для реализации способа градиентного поля нужно выбрать символ (стрелку), а также указать атрибутивные поля слоя, в соответствии с которыми будет меняться их направление и длина.

18. Измените тип символа слоя на символьный маркер и задайте его параметры следующим образом:

Шрифт	Esri Geology
Символ	Unicode 83
Размер	28
Цвет	Серый 70%

19. Нажмите *OK* и еще раз *OK*.  
 20. Чтобы задать направление стрелки, не выходя из диалога свойств слоя на вкладке *Symbology*, нажмите *Advanced–Rotation* и настройте следующие параметры вращения:

Поле	Direction
Направление	Арифметическое

21. Для изменения размера стрелки в зависимости от скорости течения нажмите *Advanced–Size*. Выберите в списке поле *Length*. Нажмите *OK*.  
 22. Сохраните карту в папке отчета.

### Настройка подписей

1. Включите механизм размещения подписей *Maplex*.
2. Дважды щелкните на слое *Cities*, и перейдите на вкладку *Labels*.
3. Включите подписи для слоя *Cities*.
4. Настройте параметры подписей следующим образом:

Поле	Название
Размер	7
Цвет	Черный
Разрешение конфликтов	Never remove (никогда не удалять)

5. Включите подписи для слоя *Rivers* со следующими параметрами:

Поле	Title
Размер	8
Цвет	Delft Blue
Начертание	Курсивное
Размещение	Curved (криволинейно вдоль)
Удалять дубликаты	Да

6. Включите подписи для слоя *Seas* со следующими параметрами:

Поле	Name
Размер	7
Цвет	Delft Blue

7. Переименуйте все слои на русский язык следующим образом:

Исходное название	Название на карте
Cities	Города
Climates	Климат
Coast	Побережье
Countries	Страны
Currents	Течения
Lakes	Озера
Rivers	Реки

8. Сохраните карту в папке отчета.

### **Настройка компоновки карты**

1. Переключитесь в вид компоновки с помощью команды меню *View – Layout View*.
2. Настройте макет листа следующим образом: размер А3, ориентировка Альбомная.
3. Подгоните размер фрейма данных таким образом, чтобы карта заняла площадь всего листа с небольшим запасом.
4. Установите масштаб равным 1:90 000 000 и отцентрируйте карту в пределах листа.
5. Добавьте на карту легенду (используя команду *Insert – Legend*), включив в нее только слои *Климат* и *Течения*.

6. В следующем диалоге название легенды оставьте пустым.
7. Далее все параметры оставьте по умолчанию.
8. Уберите заголовок поля для слоя *Климат*.
9. Добавьте градусную сетку координат со следующими параметрами:

Шаг по X	20
Шаг по Y	20

10. Измените начало координат для оси Y на 0.
11. Отключите отображение нулевых минут и секунд.
12. Разместите над картой текст «КЛИМАТ И ОСНОВНЫЕ ОБЪЕКТЫ ГИДРОСФЕРЫ» (или дайте другое соответствующее ей название).
13. Разместите под картой по центру численный масштаб 1:90 000 000.
14. Разместите в правом нижнем углу карты текст «Выполнил» и свои ФИО.
15. Сохраните карту.

### **Экспорт в графический файл**

1. Экспортируйте карту из режима компоновки в формат *png* с разрешением 300 точек на дюйм с помощью команды *File – Export Map*. Сохраните его в свою директорию.
2. Вставьте карту в отчетный файл.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 4. Технологии работы с пространственными данными для социально-экономического картографирования**

### **Задачи**

Изучение представления площадных, линейных, точечных объектов в базе пространственных данных, создаваемой на основе данных статистики, добавление слоев БГД на карту, формирование компоновки мелкомасштабной карты численности населения, вклю-

чая настройку подписей объектов, легенду, сетку координат и рамочные элементы карты.

### ***Исходные данные***

Сетка границ субъектов федерации с привязанной статистикой по населению, государственная граница России, крупнейшие города России, крупнейшие озера, страны.

### ***Результат***

Компоновка тематической карты «Население России» масштаба 1:30 000 000.

## **Изучение слоев БГД**

База геоданных *MapData.gdb*, содержащая исходные данные для выполнения задания, находится в каталоге *Ex4*.

1. Запустите приложение *ArcMap* и откройте окно *Catalog*.
2. Подключитесь к рабочему каталогу *Ex4* в окне *Catalog*.
3. Раскройте базу данных *MapData.gdb* и изучите ее содержание.

Внутри базы геоданных могут быть объекты следующих типов:

- слои векторных данных (классы пространственных объектов),
- слои растровых данных,
- обычные таблицы.

***Какие пространственные объекты отнесены к классам (feature class)?***

Классы объектов базы данных *MapData.gdb*

Borders	Государственная граница РФ
Cities	Города
Lakes	Озера
Regions	Субъекты федерации
Countries	Страны

***К какому типу геометрии относятся представленные в таблице классы?***

4. Дважды щелкните на слое *Climates* и перейдите в его свойствах на вкладку *XY Coordinate System*. Внимательно прочитайте информацию. Слой хранится в Географической системе

ме координат (*GCS*), отнесенной к эллипсоиду *WGS-1984*. Это означает, что координаты каждого объекта хранятся в значениях широты и долготы. Такой слой всегда можно спроецировать в любую проекцию, при этом координаты будут представлены в метрических единицах, а система координат получит название Проецированной системы координат (*PCS*).

## Оформление тематических слоев

1. Добавьте на карту слой *Regions*, перетащив его из окна каталога на карту.
2. Переименуйте его в «Плотность населения».
3. Измените проекцию карты на равновеликую коническую проекцию Альберса. Ее можно найти по следующему пути:

*Projected Coordinate Systems – Continental – Asia – Asia North Albers Equal Area Conic.*

4. Обратите внимание на то, как изменится форма отображаемых объектов.
5. Откройте таблицу атрибутов слоя. Найдите в ней столбец *Density*, хранящий значения плотности населения по субъектам, и просмотрите его значения.
6. Найдите поля *Shape\** и *ObjectID\**.

### Что хранится в этих полях?

7. Перейдите на вкладку *Symbolology*. Внимательно изучите группы способов изображения (*Features, Categories, Quantities, Charts, Multiple Attributes*). Разверните каждую группу и щелкните на каждом способе. Сопоставьте их вспомогательные иллюстрации с традиционной классификацией способов изображения.
8. Дважды щелкните на названии слоя и на вкладке *Symbolology* и выберите способ изображения *Quantity – Graduated colors* (Картограммы).
9. Выберите в списке *Value Field* поле *Density*, система автоматически сформирует список классов, созданных методом естественных интервалов.

*Существует множество методов классификаций: равных интервалов, квантилей, стандартных отклонений и т. д. По умолчанию всегда выбирается метод*

естественных интервалов, т.к. он в среднем неплохо отражает особенности распределения.

10. Измените число классов на 7.
11. Измените метод классификации. Для этого нажмите *Classify*, выберите ручной метод задания интервалов (*Manual*) и в правом столбце замените первые шесть значений на следующие: 1, 10, 25, 50, 100, 250. Максимальное значение оставьте без изменений. Нажмите *OK*.
12. На вкладке *Symbology* выберите цветовую шкалу *Yellow To Dark Red*.
13. Инвертируйте сортировку классов, чтобы наверху оказались максимальные градации.
14. Инвертируйте цветовую шкалу, чтобы цвета соответствовали градациям.
15. В основном диалоге настройки символов исправьте подписи классов (столбец *Label*) в соответствии с градациями.
16. Нажмите *OK*.
17. Переименуйте показатель в «чел/км<sup>2</sup>».
18. Сохраните карту.
19. Скопируйте и вставьте слой «Плотность населения». Переименуйте его в «Численность населения».
20. Поместите новый слой поверх слоя плотности населения.
21. Измените его способ изображения на *Картодиаграммы (Quantities – Graduated Symbols)*.
22. Выберите поле для отображения *SUM\_Все\_население*.
23. Установите число классов равным 6.
24. Выберите ручной метод классификации и введите следующие границы классов: 500, 1000, 2500, 5000, 10 000; максимальную границу оставьте прежней, нажмите *OK*.
25. Инвертируйте порядок классов и порядок символов в классификации (аналогично картограммам) так, чтобы наверху оказались максимальные значения.
26. Установите максимальный и минимальный размер значка равным 18 и 4 пунктам, соответственно.
27. Отредактируйте подписи классов по аналогии с картограммами.
28. Задайте символ фона картодиаграмм в виде полигона с пустой заливкой и пустой обводкой, нажмите *OK*.
29. Сохраните карту.

## Оформление общегеографических слоев

1. Добавьте на карту слои *Borders*, *Cities*, *Countries* и *Lakes*.  
Установите следующий порядок расположения слоев в таблице содержания:

- *Cities*
- *Borders*
- *Lakes*
- Численность населения
- Плотность населения
- *Countries*

2. Переименуйте вновь добавленные слои следующим образом:

Исходное название	Новое название слоя
Cities	Города
Borders	Граница РФ
Lakes	Озера
Countries	Страны

3. Присвойте слою *Граница РФ* единый символ *Boundary*, *National*.
4. Присвойте слою *Озера* единый символ *Lake*.
5. Измените цвет точек точечного слоя *Города* на белый.
6. Установите следующие параметры оформления для полигонального слоя *Страны*:

Цвет заливки	Серый 10%
Цвет обводки	Серый 50%
Толщина обводки	1

7. Сохраните карту.

## Настройка подписей

1. Включите механизм размещения подписей *Maplex*.
2. Включите показ подписей для слоя *Города* на вкладке *Labels*. Выберите в качестве поля для подписей *name\_2*. Остальные настройки оставьте по умолчанию:
3. Включите подписи для слоя *Страны*. Настройте подписи следующим образом:

Поле (label field)	Название
Тип размещения	Криволинейное (Curved)
Разрядка слов	Да
Разрядка букв	Да
Подписывать только наибольшую часть	Да

## Настройка компоновки карты

1. Переключитесь в вид компоновки, используя команду меню *View –Layout View*.
2. Настройте макет листа следующим образом: размер А4, ориентировка Альбомная.
3. Установите масштаб карты равным 1:35 000 000. Отцентрируйте показ контура России.
4. Подгоните размер фрейма данных таким образом, чтобы он был слегка больше контура России, и разместите его в правом верхнем углу карты.
5. Смените цвет фрейма данных (фона) на светло-голубой.
6. Добавьте на карту легенду, включив в нее только слои *Численность населения* и *Плотность населения*. Нажмите кнопку *Далее*.
7. В следующем диалоге название легенды оставьте пустым.
8. Далее все параметры оставьте по умолчанию.
9. Добавьте на карту сетку координат со следующими параметрами:

Тип сетки	Градусная
Шаг по широте	10
Шаг по долготе	10

10. Отключите отображение минут и секунд.
11. Разместите над картой текст заголовка карты, используя панель *Drawing* или меню *Insert*.
12. Разместите под картой по центру численный масштаб 1:30 000 000.
13. Разместите в правом нижнем углу карты текст «Выполнил» и свои ФИО.
14. Сохраните карту.

### **Экспорт в графический файл**

Экспортируйте карту из режима компоновки в формат *png* с разрешением 300 точек на дюйм. Сохраните его в своей директории в отчетном файле.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Раздел 2

### СОЗДАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ БГД

#### 2.1. Технологии создания пространственных объектов и баз геоданных

Географическое разнообразие реального мира бесконечно сложно, но в то же время оно может быть представлено в виде отдельных элементов или объектов. Преимущество ГИС состоит в том, что она позволяет рассматривать объекты в их географическом окружении и исследовать взаимосвязи между объектами.

**Привязка и трансформирование геоизображений.** Географическая привязка данных – первая и важнейшая процедура в создании базы данных ГИС. Позиционной базой для локализации как топографических, так и тематических элементов БД ГИС может служить либо цифровая карта-основа на исследуемую территорию, обеспечивающая привязку тематических данных с известной точностью, либо оцифрованный с высоким разрешением плановый аэроснимок (или фотоплан). Часто используют файлы координат характерных точек на территории, полученных с применением высокоточных приборов.

В основе процедуры преобразования координатных систем и картографических проекций лежат *датумы* – базовые геодезические параметры, которые связывают различные картографические источники, системы спутниковой привязки (GPS), космические снимки и т. п. Датум – это набор параметров и контрольных точек, используемых для точного задания трехмерной формы Земли. Если сфероид аппроксимирует форму Земли, датум определяет положение сфероида по отношению к центру Земли. Датум обеспечивает относительную систему (рамку) для измерения параметров местоположений на поверхности Земли – задает начало отсчета и ориентацию для линий широты и долготы. Широко используемым

датумом является Мировая геодезическая система 1984 года (WGS84). Она служит основой для измерения местоположений во всем мире. Для наилучшего представления областей земного шара используются также локальные датумы, например, для Северной Америки – датум NAD27, для Европы – датум ED50.

Существует несколько способов выполнения процедуры пространственной привязки:

- пространственную привязку можно импортировать из существующей БД или набора объектов;
- если координаты ваших данных представлены в градусах географической системы координат, то пространственную привязку можно ввести – прописать;
- пространственную привязку можно создать на основе известных опорных точек с использованием, как правило, аффинных преобразований геометрии пространства;
- создать путем преобразования картографических проекций.

При решении достаточно большого числа географических задач востребованы методы косвенной (дискретной) географической привязки, использующие в качестве источников опорных точек: почтовые адреса, системы почтовых индексов, системы учета государственных земель, иерархические системы сеток, системы переписи.

Процесс привязки адреса к географическому положению называют **адресным геокодированием**. Точность почтового адреса как показателя географической привязки данных неодинакова: она выше для адресов квартир в городах и ниже – для сельских местностей и абонентских почтовых адресов, которые означают, что объект находится в пределах обслуживания данного почтового отделения. Наиболее общий подход к использованию почтовых адресов в ГИС – побуквенное сопоставление их со списком адресов, хранящимся в заданном стандарте написания. Такой список задает соответствие известных адресов и их координат, и называется *адресным локатором*. Процедура геокодирования предусмотрена во многих ГИС-пакетах. В *ArcGIS* она носит название «Geocode Addresses». В качестве источника адресного локатора может быть использован специальный веб-сервис. Трудности сопоставления введенного адреса и адресного локатора связаны с различиями в написании и пунктуации. Ошибка сопоставления в 10% считается

приемлемой; в противном случае приходится осуществлять поиск адреса, используя таблицы диапазонов адресов. При несовпадении номера дома с базовым осуществляется интерполяция его положения в указанном диапазоне (обычно это номера домов квартала с учетом стороны улицы).

В результате геокодирования создается графическое представление о локализации объектов – слой точек, соответствующих описанному в адресе местоположению. Совмещение этого слоя со слоем улиц позволяет использовать базы данных, не содержащие позиционную составляющую, при выполнении пространственного анализа в ГИС (пример – упражнение 18).

Системы почтовых индексов введены во многих странах и часто обеспечивают приемлемую точность привязки. Однако список адресов, относящихся к одному почтовому индексу, предназначен для работы почтальона, а не для карты, адреса рассматриваются как точки вдоль улицы, а не земельные участки, и в городах один индекс из 5–6 цифр может соответствовать нескольким кварталам. Тем не менее, созданы специальные файлы, содержащие координаты границ территорий почтовых индексов.

Для управления базами пространственных данных (или, в терминологии *ArcGIS* – базами геоданных) используются специализированные программы – системы управления базой данных (СУБД), тип модели которой определяет принципы управления и работы с данными. В ГИС используются модели СУБД реляционного типа (раздел 1). Эти модели имеют табличную структуру: строки таблицы соответствуют одной *записи* информации об объекте, а столбцы – *поля* – содержат однотипные характеристики всех объектов. Таким образом, атрибуты объектов группируются в строках в виде так называемых *отношений* (*relations*), поскольку каждая строка связывает их между собой. Позиционная составляющая данных представляется в соответствующем поле таблицы описанием геометрии и доступна пользователю только через СУБД. Атрибутивные данные могут редактироваться. Всевозможные способы индексации данных существенно сокращают время поиска информации и время запроса к данным.

Наборы пространственных данных сопровождаются *метаданными* – данными о пространственных данных; они содержат сведения о составе, происхождении, местонахождении, качестве (вклю-

чая точность, достоверность), системах координат и масштабах, форматах представления, условиях доступа, авторских правах на данные и т. п.

## **Проектирование базы геоданных: общий обзор**

Создание БГД включает процесс организации географической информации в группы тематических данных (темы данных), то есть слоев, которые могут быть объединены с использованием сведений об их географическом расположении. Тема данных представляет собой набор связанных между собой географических объектов, например, дорожная сеть, набор границ земельных участков, типы почв, поверхность рельефа, космический снимок определенной даты, точки местоположений скважин и так далее.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что процесс проектирования базы геоданных должен начинаться с определения того, какие наборы тем данных будут использоваться. Далее необходимо определить содержание и представление каждого из тематических слоев.

Эта процедура включает несколько этапов.

*Определение организационных процедур:*

- модели географических объектов для представления в каждом слое данных (в виде точек, линий, полигонов или растров), а также их табличных атрибутов;
- способов организации данных в таких наборах, как: классы пространственных объектов, наборы атрибутов, наборы растровых данных и др.;
- дополнительных элементов организации базы данных, необходимых для обеспечения правил целостности данных, моделей поведения (топология, сети и каталоги растров), а также для определения пространственных и атрибутивных отношений между наборами данных.

*Определение способов географического представления данных:*

- классов пространственных объектов (наборов точек, линий и полигонов);
- картографических изображений и растров;
- непрерывных поверхностей, которые могут быть представлены в виде пространственных объектов (например, изолиний),

растровых изображений (ЦМР) или в виде нерегулярных триангуляционных сетей (TIN) с использованием наборов данных terrain;

- текстовых описаний, например атрибутивных таблиц.

*Создание новой базы геоданных:*

- добавление и удаление полей,
- вычисление значений атрибутов при помощи Калькулятора поля,
- создание нового класса пространственных объектов,
- создание новых объектов при помощи инструментов редактирования,
- импорт метаданных,
- редактирование метаданных (дополнительно).

Введение доменов и подтипов предотвращает присвоение нелегальных атрибутов объектам, появление ошибочных записей в таблицах.

*Подтип* – подмножество записей внутри поля атрибутивной таблицы. Введение подтипов позволяет сгруппировать одиночные значения атрибутов поля. Подтип задается целыми числами (можно выбирать значение подтипа по умолчанию), к которым можно добавить описание подтипа.

*Домен* определяет допустимые значения для координат, поля таблицы атрибутов или подтипа. Домен может быть задан числовыми значениями (рангом), указывающими допустимый диапазон измерений или значений атрибута (например, ширина трубы может быть от 25 до 500 мм), или кодированными значениями, указывающими допустимый атрибут объекта (например, тип землепользования может быть только «индустриальный» или «неиспользуемые земли»).

Организация информации в тематические слои позволяет описать распределение географического явления, а также устанавливать правила их визуализации в различных географических масштабах.

Каждая БГД в ГИС содержит множество тем (слоев) для общей географической территории. Набор тем выступает в роли слоев в группе. С каждой темой можно работать как с набором информации, независимым от других тем. У каждой темы имеются собственные средства представления (точки, линии, полигоны, поверхности, растры и т. д.). Поскольку различные несвязанные меж-

ду собой темы являются пространственно координированными (привязанными), то они будут накладываться друг на друга и могут быть объединены при отображении общей карты. Помимо этого, при выполнении операций ГИС-анализа, например наложения, может осуществляться объединение информации между темами.

Многие темы представляются в виде одного набора однородных объектов, например, в виде класса пространственных объектов – полигонов типов почв или в виде точечного класса пространственных объектов расположений скважин. Другие темы, например, транспортная сеть, могут быть представлены в виде нескольких наборов данных (например, в виде пространственно связанных классов пространственных объектов улиц, пересечений улиц, мостов, съездов на автомагистралях и т. д.).

Наборы растровых данных используются для представления континуальных поверхностей, например, рельефа, поверхностей уклонов, экспозиции, а также для представления данных космической съемки, аэрофотосъемки и других наборов данных, значения в которых определены в узлах регулярной сетки (грида) (например, тип землепользования или тип растительности).

Представление пространственных объектов в БГД зависит от используемых источников данных и планируемых вариантов их применения. Это определяет содержание каждого тематического слоя и всей БГД. Например, существует множество вариантов представления поверхности рельефа: в виде изолиний, в виде подписей отметок высот, в виде континуальной поверхности рельефа (ЦМР) или его изображения способом светотеневой отмывки. Если уже имеющиеся данные были собраны в определенном масштабе и имеют конкретную форму представления, то имеет смысл адаптировать новые операции с БГД к существующей структуре.

Несмотря на то, что любой набор данных в БГД можно использовать отдельно, однако для поддержки пространственных взаимоотношений и топологии важно, чтобы данные всех информационных слоев были согласованы. Научное понимание этих пространственных отношений помогает построить логически согласованную базу данных, где пространственные объекты одного слоя данных соответствуют объектам остальных слоев. Например, гидрологическая информация о водоразделах и водосборных бассейнах должна собираться в согласии с данными речной сети, линии водосбо-

ров должны попадать внутрь бассейнов, а все слои должны быть согласованы с поверхностью рельефа.

## **2.2. Задание практикума**

### ***Цель***

Задание посвящено получению основных навыков: проектирования баз пространственных данных; создания пространственных объектов и классов пространственных объектов с использованием операций цифрования растровых изображений и экспорта из других БГД; выполнения координатной привязки и преобразования проекций; редактирования координат и атрибутов, картографических приемов отображения содержания БГД. Полученные навыки охватывают базовые технологии геоинформатики и обеспечивают возможность решения разнообразных задач географических исследований.

### ***Необходимые знания***

Понятие базы пространственных данных

Структура персональной базы геоданных

Методы пространственной привязки данных и трансформирования геоизображений

Способы цифрования пространственных объектов

Правила создания классов пространственных объектов

Способы создания и редактирования атрибутов

Технологии работы с базой геоданных: выборка данных из БГД; способы картографического отображения содержания БГД

### ***Ключевые слова***

Системы координат, проекции, трансформирование координат, пространственная привязка, цифрование, классы пространственных объектов, таблицы атрибутов, персональная база геоданных, пространственные и атрибутивные выборки.

## **2.3. Упражнения**

### **Упражнение 5. Создание базы геоданных «Туристический маршрут»**

#### ***Задачи***

Координатная привязка растровых карт природных зон и туристического маршрута по территории Швейцарии; их цифрование с

целью создания векторных слоев данных в новой базе геоданных и составление туристской карты, показывающей прохождение маршрута по разным природным зонам.

### **Исходные данные**

Растровые карты для создания на их основе классов пространственных объектов, фрагмент базы пространственных данных на территорию Швейцарии.

### **Результат**

База данных, содержащая слои:

- границы природных зон,
- линии туристического маршрута,
- остановки вдоль маршрута,
- проект карты с оформленной компоновкой.

### **Привязка карт**

1. Добавьте на карту слой *Countries* из базы данных упражнения 2.
2. Добавьте на карту растр *SwissRegions.gif*. Появится диалог, предупреждающий, что добавляемый файл не имеет пространственной привязки. Нажмите *OK*. Убедитесь, что контур страны отображается примерно посередине экрана.
3. Откройте панель инструментов *Georeferencing*. Выберите в меню команду *Fit to Display*, чтобы переместить непривязанный растр на середину области отображения.
4. Сделайте растровый слой прозрачным на 50%.
5. Используя инструмент *расстановки контрольных точек*, укажите 3–6 соответствующих точек по границе страны на характерных выступах контура.
6. Выберите команду меню *Georeferencing–Update Georeferencing*, чтобы завершить привязку растра. При этом по умолчанию будет применено аффинное преобразование с минимизацией среднеквадратической ошибки отклонения исходных и целевых координат.
7. Добавьте на карту слой *WineSafariRoute.jpg*, выбрав его в списке на панели *Georeferencing*.
8. Отключите слой *SwissRegions.gif* в таблице содержания.
9. Привяжите растр *WineSafariRoute* аналогично предыдущему растру, используя контрольные точки.

10. Выберите команду *Georeferencing–Update georeferencing* для завершения привязки второго растра.

### Создание базы данных и классов пространственных объектов

1. Создайте в папке *Ex5* новую базу геоданных под названием *RouteMap.gdb*.
2. Создайте в базе данных классы пространственных объектов со следующими параметрами:

Название класса	Модель пространственных объектов	Атрибутивные поля (тип)	Проекция
Regions	Полигональная ( <i>polygon features</i> )	NAME (text)	WGS_1984_UTM_Zone_32N <i>Импортируйте у слоя карты</i>
Routes	Линейная ( <i>line features</i> )	–	WGS_1984_UTM_Zone_32N <i>Импортируйте у слоя карты</i>
Places	Точечная ( <i>point features</i> )	NAME (text)	WGS_1984_UTM_Zone_32N <i>Импортируйте у слоя карты</i>

После завершения создания слоев они автоматически будут добавлены на карту.

### Цифрование границ регионов

1. Оставьте включенными только слои *Regions*, *SwissRegions* и *Countries*.
2. Уберите свойство «прозрачность» у слоя *SwissRegions*.
3. Откройте сеанс редактирования для слоя *Regions*. Появится панель редактирования *Editor*, а также окно шаблонов объектов *Create Features*.
4. Щелкните на шаблоне объекта *Regions* в окне *Create Features* и выберите режим цифрования *Polygon*.
5. Оцифруйте регион *Prealpine Zones* в центре карты и для завершения процедуры дважды щелкните мышкой.
6. Чтобы появилась возможность пристыковать остальные регионы к границам стран, выделите в слое *Countries* все страны, кроме Швейцарии, скопируйте их в буфер обмена и вставьте в слой *Regions*.
7. Выделите снова шаблон *Regions* в окне *Create Features*.

- Используя режим *Auto-Complete Polygon*, оцифруйте границы оставшихся регионов в следующем порядке:
  - сначала небольшие регионы, примыкающие к границам,
  - затем область второго порядка (горы Юра),
  - наконец, границу между центральными регионами.
- Выделите в слое *Regions* границы стран и удалите их.
- Выберите команду *Editor–Save Edits*, чтобы сохранить результаты редактирования.

### **Атрибутирование регионов**

- Уберите заливку регионов, линии сделайте толщиной 1,5–2 пункта.
- Откройте атрибутивную таблицу слоя *Regions*.
- Поочередно выделяя каждый объект в таблице или на карте, заполните его атрибуты в соответствии с легендой.
- Сохраните изменения и завершите сеанс редактирования.

### **Цифрование маршрутов и точек интереса**

- Выключите слои *Regions* и *SwissRegions.gif*.
- Включите слои *WinSafariRoute*, *Routes* и *Places*.
- Оцифруйте объекты слоев *Places* и *Routes*, используя инструменты панели *Create Features*:
  - начните с расстановки точек;
  - увеличьте масштаб, чтобы были хорошо видны изгибы линий;
  - проведите линии через получившиеся точки, повторяя контур исходной линии на растровой подложке, каждую линию начинайте в точке и завершайте двойным щелчком в перекрестке.
- Заполните названия городов в слое *Places*.
- Сохраните изменения и завершите сеанс редактирования.

### **Оформление карты**

- Оставьте включенными слои *Regions*, *Routes*, *Places* и *Countries*. Остальные слои выключите.
- Уберите заливку у слоя *Countries*.

3. Оформите слой *Regions* методом категорий по полю NAME.
4. Оформите слои *Routes* и *Places* по аналогии с нижеприведенным фрагментом.
5. Откройте панель *Labeling* и включите *Maplex* для размещения подписей.
6. Включите подписи для слоя *Places* со следующими настройками:

Поле для подписей	NAME
Шрифт	Tahoma
Кегль (размер)	12
Цвет	Черный
Начертание	Обычное

Некоторые подписи могут быть размещены не очень удачно. Чтобы они не перекрывали линии маршрута и значки выполните следующие действия:

- откройте настройки весов подписей *Label Weight Ranking* на панели *Labeling*;
- установите вес равным 1000 для слоев *Places* и *Routes*;
- добавьте на карту слой *Hillshade* из базы данных упражнения 2, разместите его над слоем *Regions* и установите прозрачность 80%;
- добавьте на карту слой *Lakes* и присвойте ему символ полигона с голубой заливкой без обводки.

### **Компоновка карты**

1. Переключитесь в режим компоновки.
2. Установите альбомную ориентировку листа.
3. Оформите компоновку в соответствии с рекомендациями интерфейса.
4. Экпортируйте карту в формат *png* с разрешением 300 dpi.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 6. Создание базы геоданных «Гидрогеология»**

### ***Задачи***

Знакомство с привязкой и цифрованием растровых карт, с применением базовых технологий геоинформатики – оверлея слоев, пространственных и атрибутивных запросов (разделы 1, 3) для создания новых слоев БГД. Перевод в векторный формат карты гидрогеологического районирования среднего течения Дона для создания класса пространственных объектов «Артезианские бассейны», добавление его в основную базу данных и использование ее для определения источников питания каждой реки, представленной в исходной гидрогеологической БГД.

### ***Исходные данные***

Слои картографической основы, соответствующие карте масштаба 1:2 500 000; растровая карта гидрогеологического районирования на район среднего течения Дона.

### ***Результат***

Слой гидрогеологического районирования в базе данных.

Слой рек, снабженный атрибутивными данными о принадлежности участков рек к артезианским бассейнам.

Проект карты с оформленной компоновкой.

## **Изучение БГД и оформление базовых слоев**

1. Скопируйте каталог *Exb* в свою папку.
2. Подключитесь в окне каталога к папке *Exb*. Убедитесь, что в ней находится база геоданных *Don.gdb* и растровый файл *DonArtesian.png*.
3. Раскройте базу геоданных и перенесите на карту слои *Lakes* и *Rivers*.
4. Присвойте слою *Lakes* символ с голубой заливкой и синей обводкой.
5. Настройте оформление слоя следующим образом:
  - выберите способ изображения по категориям (уникальные значения);
  - в качестве поля для отображения используйте поле *Tun*; нажмите *Add All Values*;

- покрасьте все реки в синий цвет; для этого щелкните мышкой на заголовке первого столбца *Symbol* и вызовите команду *Properties for all symbols*; выберите точно такой же цвет, который использовался для обводки озер;
- установите следующие параметры толщины линий:

Реки постоянные крупные	2 пункта
Реки постоянные средние	1,5 пункта
Остальные классы	1 пункт

6. Включите опцию подписей рек. Перейдите на вкладку *Labels* и отметьте галочку *Label features in this layer*. Выберите поле *Название* в качестве поля для подписей, смените их цвет на темно-синий и установите криволинейное размещение вдоль линии. Нажмите *OK*. В результате операции все реки будут подписаны.
7. Чтобы были подписаны только крупнейшие реки, необходимо использовать определяющий запрос. Для этого откройте снова свойства слоя и на вкладке *Labels* выберите метод «*Define classes of features and label each class separately*». Нажмите кнопку *SQL query* и введите в поле следующий текст запроса:

«CLASS» = 2 OR «CLASS» = 3

Чтобы избежать ошибок ввода, можно дважды щелкнуть на поле *CLASS* в списке слева – оно подставится в запрос. Добавьте знак «*=*». Далее нажмите кнопку *Get unique values* и найдите 2-й класс. Щелкните на нем дважды, чтобы он подставился в текст запроса. Далее введите оператор *OR* и повторите ввод для 3-го класса.

8. Нажмите *OK* в диалоге свойств слоя.
9. Сохраните документ карты в свою папку *Exb* под именем *Don.mxd*.

## Привязка карты

1. Внимательно прочтите раздел *Привязка растровых данных (Georeferencing)* в файле *Описание функций*.
2. Добавьте на карту из базы данных слой *DonArtesian.png* и поместите его непосредственно под слоем *Rivers*. При добавлении слоя появится диалоговое окно, предупреждающее о том, что файл не имеет привязки. Закройте его.

3. Поместите карту в центр окна *ArcMap*.
4. Откройте панель инструментов *Georeferencing*. Убедитесь, что в ее списке выбран файл *DonArtesian*. Выберите в ее меню команду *Fit to Display*, чтобы переместить непривязанный растр на середину области отображения.
5. Используя инструмент расстановки контрольных точек, укажите пять контрольных точек в разных частях карты. Желательно, чтобы точки были равномерно распределены по полю карты (по краям и в центре) и не располагались на одной линии – это обеспечит хорошие коэффициенты трансформирования. В качестве точек используйте места впадения притоков и впадения рек в водохранилища. Например, можно использовать точку впадения реки Хопёр в реку Дон.
6. Ознакомьтесь с доступными методами трансформирования по контрольным точкам. Для этого в меню *Georeferencing* выберите команду *Transformation*. По умолчанию выбрано аффинное преобразование.

**Какие еще виды трансформирования доступны?**

**Чем проективное преобразование отличается от аффинного?**

Оставьте выбранным аффинное преобразование.

7. Осуществите трансформирование растра. На панели инструментов *Georeferencing* выберите команду меню *Georeferencing–Update Georeferencing*. Контрольные точки удалятся.
8. Сохраните документ карты в формате *mxd* в папке отчета.

### **Создание слоя гидрогеологического районирования**

1. Прочтите раздел «Создание классов пространственных объектов» в файле *Описание функций*.
2. Создайте новый класс пространственных объектов в базе геоданных *Don.gdb*.
  - на первом шаге назовите слой *Artesian*, выберите площадную модель пространственных объектов (*Polygon features*);
  - на втором шаге нужно выбрать систему координат. Оптимально использовать ту же систему, что используется в

базовых данных. Для этого ее можно импортировать у существующего слоя. Нажмите *Add Coordinate Systems – Import*, найдите и укажите любой слой в базе данных *Don.gdb*;

- на 3 и 4 шагах оставьте все параметры по умолчанию;
  - на 5 шаге добавьте в первую пустую строку новое поле *Basin*. Тип поля – *Text*. В этом поле вы будете хранить название гидрогеологического бассейна;
  - нажмите *Finish*.
3. Добавьте созданный слой на карту и поместите его вверху таблицы содержания.
  4. Отключите слои рек и озер.
  5. Прочтите раздел «*Редактирование*» в файле *Описание функций*, уделив особое внимание разделам Создание объектов и Цифрование в режиме автозавершения (*auto-complete*).
  6. Включите режим редактирования слоя. Для этого в его контекстном меню выберите команду *Edit Features – Start Editing*.
  7. Откройте список шаблонов слоя и посмотрите доступные опции редактирования в нижней части окна.
  8. Оцифруйте все бассейны. Выполняйте работу в следующей последовательности:
    - сначала оцифруйте Донецко-Донской бассейн (IV) с использованием обычного инструмента *Polygon*;
    - далее последовательно пристыкуйте к нему оставшиеся бассейны с помощью инструмента *Auto Complete Polygon*;
    - замкните их по границе листа.
  9. После завершения редактирования районов сохраните изменения, выбрав команду *Editor – Save Edits*.
  10. Откройте таблицу атрибутов слоя районов. Поочередно выделяя каждый из них (для этого щелкните в самом начале строки), введите в поле *Basin* его название, ориентируясь по карте, слово «бассейн» не вводите.
  11. После ввода названий снова сохраните изменения.
  12. Завершите редактирование, выбрав команду *Editor – Stop Editing*.
  13. Измените оформление слоя в соответствии с цветами на исходном растре.

14. Включите подписи районов по полю *Basin*.
15. Отключите слой растровой карты. Включите снова слои рек и озер и переместите их вверх таблицы содержания.  
*Сохраните документ карты в папке отчета.*

### **Пространственные запросы**

Для определения пространственной приуроченности одного объекта к другому используются два способа – пространственный запрос и оверлей (подробнее в разделах 1 и 3).

Пространственный запрос осуществляет выборку объектов, находящихся в указанных отношениях с другими объектами. Например, можно создать запрос «выбрать реки, находящиеся целиком внутри (*completely within*) Московского артезианского бассейна» или смягчить поиск, указав «выбрать реки, пересекающие (*intersect*) Московский артезианский бассейн».

### **Создание выборки**

1. Пусть необходимо выбрать реки, принадлежащие Приволжско-Хоперскому бассейну. Для этого сначала выделите на карте Приволжско-Хоперский бассейн, используя инструмент выборки (*Selection*) на панели *Tools*.
2. Откройте диалог пространственной выборки (меню *Selection – Select by Location*).
3. Выберите в диалоге пространственной выборки слой *Rivers* в качестве выбираемого (*target*) и слой *Artesian* в качестве выбирающего (*source*). Отметьте галочкой пункт *Use Selected Features* – это позволит выбирать с использованием уже выбранных объектов.
4. Выберите метод выборки «*intersect the sourcelayer feature*» (пересечение).
5. Нажмите *Apply*. Будут выбраны реки, пересекающие выбранный артезианский бассейн.
6. Выберите метод выборки «*are completely within the source layer feature*» (полностью внутри).
7. Нажмите *Apply*. Будут выбраны реки, находящиеся полностью внутри выбранного бассейна.
8. Очистите выборку, используя инструмент *Clear Selected Features*.

## Оверлей

Метод оверлея работает с геометрией объектов иначе, чем пространственный запрос. Так, если в качестве исходных слоев служат реки и бассейны, то в результате выполнения оверлея реки будут разрезаны на участки в соответствии с границами бассейнов. Таким образом, оверлей создает новый слой.

*При оверлее происходит наложение двух или более слоев, в результате чего образуется их графическая композиция. Полученные участки наследуют атрибуты от каждого слоя. Эта операция базируется на стандартных отношениях множеств, таких как пересечение, объединение и симметрическая разность. Оверлей позволяет понять, какие комбинации объектов встречаются в пространстве.*

С помощью оверлея можно разбить речную сеть на сегменты, принадлежащие разным бассейнам, а полученным сегментам автоматически присвоить название бассейна.

Для выполнения оверлея следует использовать инструменты *geoprocessing* (геообработка, см. файл *Описание функций*).

1. Щелкните на базе данных *Don.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*. Эта команда указывает системе, что все результаты обработки данных (новые слои) следует помещать в выбранную базу геоданных.
2. Откройте приложение *ArcToolbox* (красная кнопка на главной панели инструментов).
3. Раскройте группу инструментов *Analysis Tools – Overlay*. Здесь можно найти различные режимы оверлея.
4. Запустите инструмент *Identity*, который находит геометрическое пересечение двух слоев и присваивает атрибуты второго слоя участкам первого слоя.
5. Заполните его параметры следующим образом:

Input features	Rivers
Identity Features	Artesian
Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex6\Don.gdb\Rivers_Identity
JoinAttributes	ALL

6. После выполнения инструмента слой будет добавлен на карту. Раскройте его таблицу атрибутов, чтобы убедиться, что каждому участку реки присвоена принадлежность к артезианскому бассейну (часть строк будет пустой, так как созданный слой артезианских бассейнов покрывает не всю территорию).

### **Атрибутивный запрос**

Атрибутивный запрос позволяет искать объекты по значениям их атрибутов. В результате выполнения оверлея возможно найти участки рек, принадлежащие артезианским бассейнам, по информации, содержащейся в поле *Basin*.

1. Откройте диалог атрибутивной выборки (меню *Selection – Select by Attributes*).
2. Выберите в качестве слоя выборки *Rivers\_Identity*.
3. Введите следующий текст запроса:  
“Basin” = ‘Приволжско-Хоперский’
4. На карте будут выделены водотоки, принадлежащие данному артезианскому бассейну. Обратите внимание на то, что выборка теперь полностью совпадает с границами бассейна.
5. Откройте таблицу атрибутов слоя *Rivers\_Identity* и укажите опцию *Show Selected records*, чтобы показывать только выбранные объекты.
6. Скомпонуйте окна приложения таким образом, чтобы было видно одновременно окно атрибутивного запроса, таблицу атрибутов слоя со столбцом *Basin*, а также картографическое изображение с выделенными реками.
7. Сохраните результат в формате документ карты в папке отчета.

### **Оформление карты**

1. Отключите слой *Rivers\_Identity* и завершите оформление карты, добавив на нее слои *Boundaries* (границы) и *Cities* (города). Используйте для их отображения способ *Категорий* и настройте показ разными символами классов границ, а также городов в соответствии с численностью населения. При оформлении подписей городов используйте метод «классифицированные подписи».

2. Переключитесь в режим компоновки и оформите легенду карты. Добавьте название карты «Гидрогеологическое районирование среднего течения Дона», а также масштаб и свои ФИО.
3. Экспортируйте результирующую карту в файл с расширением *png* и вставьте его в отчет.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

### **Упражнение 7. Создание базы геоданных «Административное деление города»**

#### ***Задачи***

Выполнить координатную привязку карты районов Лондона и оцифровать недостающие районы для создания персональной БГД «Административные районы Лондона». Далее, используя запросы к БГД, по каждому району определить количество входящих в него отелей, и построить социально-экономическую карту, которая показывает способом картодиаграмм количество отелей в каждом районе. Работа завершается оформлением компоновки карты.

#### ***Исходные данные***

Слои картографической основы *Open Street Map* территории Лондона, карта районов Лондона в растровом формате.

#### ***Результат***

База геоданных «Административные районы Лондона» со слоем границ районов Лондона.

Результаты выборки и статистика по количеству отелей в пределах каждого района.

Картодиаграммы по числу отелей в каждом районе.

Проект карты с оформленной компоновкой.

### **Картографическое оформление базовых слоев БГД**

1. Скопируйте каталог *Ex7* в свою папку и разархивируйте внутри него файл *London.zip* – он содержит базу геоданных для выполнения упражнения.

2. Подключитесь в окне каталога к вашей папке *Ex7*. Убедитесь, что в ней находится база геоданных *London.gdb* и растровый файл *InnerLondon.png*.
3. Раскройте базу геоданных и перенесите на карту слои *Water*, *Roads* и *Green*.
4. Присвойте слою *Water* символ без обводки и с голубой заливкой, а слою *Green* – без обводки и с зеленой заливкой.
5. Используя определяющий запрос, оставьте на карте только дороги первого класса. Для этого дважды щелкните на названии слоя, перейдите на вкладку *Definition query*, щелкните кнопку *Query builder* и введите следующий текст запроса:  
“type” = ‘primary’
6. Чтобы избежать ошибок ввода, дважды щелкните мышью на поле *type* в списке слева – оно подставится в запрос. Добавьте знак « = ». Далее нажмите кнопку *Get unique values* и найдите требуемое значение поля. Щелкните на нем дважды – после этого оно подставится в текст запроса.
7. Присвойте слою *Roads* символ в виде черной линии толщиной 1,5 пункта.
8. Сохраните документ карты в свою папку *Ex7* под именем *London.mxd*.

## Привязка карты

1. Внимательно прочтите раздел *Привязка растровых данных (Georeferencing)* в файле Описание функций.
2. Добавьте на карту из окна каталога слой *InnerLondon.png* и поместите его непосредственно под слоем *Roads*. При добавлении слоя появится диалоговое окно, предупреждающее о том, что файл не имеет привязки. Закройте его.
3. Расположите карту в центре окна *ArcMap*.
4. Откройте панель инструментов *Georeferencing*. Выберите в ее меню команду *Fit to Display*, чтобы переместить непривязанный растр на середину области отображения.
5. Используя инструмент расстановки контрольных точек, укажите пять точек в разных частях города. Желательно, чтобы точки были равномерно распределены по полю карты (по краям и в центре) и не располагались на одной линии – это обеспечивает хорошие коэффициенты трансформирования. В качестве

- точек используйте перекрестки дорог, которые хорошо видны как на растре, так и на картографической основе. Например, и на растре, и на основе хорошо распознается перекресток на западной окраине Хемпстеда.
6. Ознакомьтесь с доступными методами трансформирования по контрольным точкам. Для этого в меню *Georeferencing* выберите команду *Transformation*. По умолчанию выбрано аффинное преобразование. При пяти контрольных точках будет доступно проективное преобразование, но в этом упражнении оставьте выбранным аффинное преобразование.
  7. Осуществите трансформирование растра: на панели инструментов *Georeferencing* выберите команду меню *Georeferencing–Update Georeferencing* (контрольные точки удалятся).
  8. Сохраните документ карты в папке отчета.

### **Создание слоя городских районов**

1. Добавьте на карту слой районов – *Districts*. Он содержит районы северного берега Темзы. Слой необходимо дополнить, оцифровав районы южного берега реки.
2. Отключите слой дорог в таблице содержания.
3. Включите режим редактирования слоя. Для этого в его контекстном меню выберите команду *Edit Features – Start Editing*.
4. Откройте список шаблонов слоя и посмотрите доступные опции.
5. Прочтите раздел *Редактирование* в файле Описание функций, особенно уделив внимание разделам Создание объектов и Цифрование в режиме авто-завершения (*auto-complete*).
6. Оцифруйте все городские районы. Выполняйте работу в следующей последовательности:
  - сначала оцифруйте район *Wandsworth*, используя инструмент *Polygon*;
  - далее последовательно пристыкуйте к нему оставшиеся районы южного берега инструментом *Auto-Complete Polygon*;
  - участки, примыкающие к Темзе, оцифруйте по береговой линии аналогично районам северного берега;

- после того как редактирование районов завершено, сохраните изменения, выбрав команду *Editor – Save Edits*.
7. Откройте таблицу атрибутов слоя районов. Поочередно выделяя каждый из новых районов, введите в поле *Name* его название, ориентируясь по карте.
  8. После ввода названий снова сохраните изменения.
  9. Завершите редактирование, выбрав команду *Editor – Stop Editing*.
  10. Измените оформление слоя следующим образом: сделайте пустую заливку, а обводку – оранжевого цвета толщиной 1,5 пункта.
  11. Включите подписи районов по полю *Name*.
  12. Отключите слой растровой карты.
  13. Включите слой\_дорог и измените их цвет на серый, чтобы он не путался с подписями.
  14. Сохраните документ карты.

### Расчет статистики по районам

Необходимо определить количество отелей, которые попадают в пределы каждого района, затем построить картодиаграммы по полученным значениям. Для этого можно использовать пространственно-атрибутивный запрос. Алгоритм поиска следующий:

- выбрать текущий район,
- выбрать здания, попадающие в его пределы,
- из полученной выборки оставить только здания, являющиеся отелями,
- записать число отобранных зданий в атрибут *Hotels* текущего района.

Эти операции необходимо повторить для каждого района.

Перед выполнением анализа следует создать атрибутивное поле, в котором будет храниться число отелей. Для этого:

- остановите сеанс редактирования,
- откройте таблицу атрибутов слоя,
- выберите команду меню *Add Field...*,
- введите название поля *Hotels* и тип поля *Short Integer*,
- нажмите *OK*, поле будет добавлено в таблицу атрибутов слоя,
- добавьте на карту слой *buildings* из базы геоданных *London.gdb* и присвойте ему символ бледно-серого цвета без обводки, поместите его под слоем *districts*.

Для удобства организуйте рабочее пространство следующим образом.

1. Откройте атрибутивные таблицы слоев *districts* и *buildings* и расположите их друг над другом в левой части окна.
2. Включите редактирование для слоя *Districts* и выберите в его таблице первую строку (нужно щелкнуть на заголовке строки).
3. Откройте диалог пространственной выборки (*Selection – Select by Location*) и диалог атрибутивной выборки (*Selection – Select by Attributes*). Расположите их рядом.
4. Выберите в диалоге пространственной выборки слой *buildings* в качестве выбираемого (*target*) и слой *districts* в качестве выбирающего (*source*). Отметьте галочкой пункт *Use Selected Features* – это позволит осуществлять выборку с использованием уже выбранных объектов.
5. Нажмите кнопку *Apply* – на карте должны выбраться здания, попавшие в пределы выбранного района. Не закрывайте диалог.
6. Перейдите в диалог атрибутивной выборки. В качестве выбираемого слоя укажите *Buildings* и смените режим выборки на «*Select from current selection*». В этом режиме выборка будет осуществляться только среди уже выбранных объектов.
7. Введите следующий атрибутивный запрос, чтобы отобразить здания отелей:

“type” = ‘hotel’

8. Нажмите *Apply*. Не закрывайте диалог атрибутивной выборки. На карте останутся выбранными только те здания текущего района, которые являются отелями. Чтобы ознакомиться с их списком, перейдите в атрибутивную таблицу слоя *Buildings* и включите режим показа только выбранных объектов (*Show selected records*).

Внизу таблицы показывается число выбранных объектов (оно зависит от выделяемого района).

9. Внесите указанное число в атрибутивную таблицу слоя *districts* для текущего выбранного района.
10. Выберите следующий район в таблице слоя *districts* (это будет район *Islington*).

11. Повторите шаги 5–10 для всех оставшихся районов. На всем протяжении выполнения этих операций должны быть открыты таблицы обоих слоев, а также диалоговые окна атрибутивной и пространственной выборки.

Окончательная таблица должна содержать в поле *Hotels* число отелей для каждого района.

### **Визуализация полученных данных**

Выполните самостоятельно визуализацию расположения числа отелей по районам методом картодиаграмм. В качестве символов можно выбрать не только кружки, но и, например, столбики, или найти значок отеля в библиотеке символов и использовать его как шаблон. Для этого:

1. Прочтите разделы *Подключение библиотек символов* и *Поиск символов по названию* в файле *Описание функций*. Просмотрите значки в разных библиотеках.
2. Создайте картодиаграммы на основе значка здания (попробуйте найти символ «*hotel*» в библиотеке *3D Residential*).
3. Включите *гало* для подписей районов (*halo*), чтобы они хорошо читались на фоне диаграмм.
4. Создайте компоновку карты с названием, легендой и масштабом.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Раздел 3**

### **ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ**

#### **3.1. Понятие пространственного анализа**

Основное назначение ГИС-технологий – обеспечить функционирование ГИС как системы и выполнение географического анализа и моделирования при решении научно-исследовательских и прикладных тематических задач. Пространственный анализ включает формирование классов пространственных объектов на основе одного или множества показателей, изучение размещения, связей, динамики и иных пространственных отношений пространственных объектов. Некоторые методы географического анализа и моделирования разработаны и применяются давно, и задача заключается в переносе их в геоинформационную среду, в разработке новых геоинформационных технологий исследования. К наиболее распространенным относятся следующие технологии.

**Классификация** объектов путем группировки значений их признака для объединения в классы близких величин или выявления закономерностей в данных. Границы классов определяют по характерным точкам статистического ряда их распределения, представляемого гистограммой – графиком, отображающим частоту встречаемости значений атрибута. Классификацию применяют при автоматизации выделения интервалов шкал географических данных, при статистическом анализе их структуры, при создании тематических слоев БД и карт, выборе графического приема отображения данных на карте – цветовых шкал, символов или диаграмм.

**Исследование взаимосвязей объектов** с использованием операций оверлея слоев, выбора объектов по пространственным критериям и построения атрибутивных запросов, операций с атрибутами множества объектов, перекрывающихся в пространстве. Пространственные запросы часто выполняются в сочетании с построением

буферных зон, например для зонирования территории по степени опасности, или решения проблем оценки недвижимости.

**Определение местоположения и оптимального размещения** – типичная задача ГИС-анализа при выполнении территориальных исследований, для сопряженного анализа географических факторов и изучения их пространственных отношений. Эффективный способ нахождения оптимального местоположения – создание дополнительных слоев «пригодности» или их результирующей комбинации с использованием *ГИС-технологии оверлея*. Пользователь интерактивно управляет процессом создания дополнительных слоев, задавая условия пригодности.

**Сетевой анализ**, который стал востребованным особенно в последнее время в связи с созданием многочисленных муниципальных ГИС и применением навигационных систем. Он позволяет решать различные задачи на пространственных сетях связанных линейных объектов: дороги, сети улиц, реки, трубопроводы, сети водопроводов, электрических и телефонных кабелей и др. Сеть состоит из линий, которые могут пересекаться с другими в точке, называемой «узел».

### **Классификация объектов по числовым атрибутам**

При выполнении классификации данных можно использовать один из стандартных методов, предоставляемых ГИС-пакетом, или задавать классы и диапазоны классов вручную. В *ArcGIS* стандартные методы можно выбрать в диалоговом окне *Свойства слоя (Layer Properties)* во вкладке *Символы (Symbology)*. Достаточно выбрать схему классификации и установить количество классов. Граничные значения (*Break Values*) можно передвигать, вызывая меню быстрого доступа правой клавишей мыши. Возможно вручную выделить и обновить значение границ классов на графике (гистограмме). Так метод заданных интервалов (***Defined Interval***) позволяет указать размер интервала, который будет использован для определения последовательности классов с одинаковым диапазоном значений.

При классификации объектов по их атрибутивному параметру обычно используют пять стандартных методов классификации.

**Метод естественных интервалов (*Natural Breaks*)**, или **метод Фишера–Дженкса**, основан на естественной группировке дан-

ных, которая достигается минимизацией дисперсии показателя внутри классов и максимизацией отличий между классами. Этот метод позволяет выделить естественные переломы в распределении показателя, которые хорошо видны, например, на столбчатых гистограммах, построенных по исходным значениям. Классификация методом естественных интервалов индивидуальна для конкретных данных и не подходит для сравнения нескольких статистических рядов.

*Метод равновеликих (равноколичественных) классов – квантилей (Quantile).* При использовании этого метода устанавливают число объектов, относящихся к классу: каждый класс содержит одинаковое число объектов. Здесь не бывает пустых классов, или классов, содержащих слишком малое или слишком большое количество значений. Такая классификация хорошо подходит только для равномерно распределенных данных. Во всех остальных случаях метод вводит в заблуждение, так как создает впечатление равномерности распределения показателя, что обусловлено одинаковым количеством объектов каждого класса (при этом читатель карты не учитывает тот факт, что границы классов определены с неравным шагом).

*Метод равных интервалов (Equal Interval).* В этом методе разбивают значения показателей на равные по размеру интервалы, например, по 5 млн человек. При его использовании необходимо задать число интервалов (классов), а границы их определяются автоматически. Метод хорошо подходит для известных диапазонов значений, например, процентов или температур.

*Метод стандартных отклонений (Standard deviation)* основан на определении статистических параметров: определяют минимальное и максимальное значения признака, число объектов, общую сумму значений показателя и среднее, выборочную дисперсию  $\sigma^2$  и стандартное отклонение  $\sigma$ . Границы классов устанавливают с шагом  $0,25\sigma$ ;  $0,5\sigma$ ;  $\sigma$  и  $3\sigma$  по обе стороны от среднего значения. Результат классификации показывает, насколько значения атрибутов объектов отличаются от среднего значения. При выборе метода нужно указать долю стандартного отклонения, чтобы определить интервал каждого класса. Метод используется для классификации показателей, распределенных симметрично относительно «нейтрального» значения (например, температуры), и, как

правило, сочетается на картах с трехцветными расходящимися шкалами.

*Метод геометрических интервалов (Geometrical Interval).* Алгоритм метода создает геометрические интервалы путем минимизации суммы квадратов элементов в каждом классе. Это позволяет добиться того, что в каждом классе будет находиться примерно равное количество значений, и размеры интервалов будут примерно равнозначными. Этот алгоритм был специально разработан для обработки непрерывных данных. Метод сочетает в себе достоинства методов равного интервала, естественных границ и квантиля. Он позволяет корректно разделить средние значения и выбывающие из ряда крайние, позволяя получить результат, адекватный с картографической точки зрения и визуально привлекательный. При выборе метода нужно задать число классов.

При классификации объектов по числовым атрибутам и отображении их действительного географического распределения на территории при картографировании необходимо принимать во внимание особенности географических данных, используемых в ГИС-приложениях. Многие типы данных уже выражены в номинальных или порядковых шкалах – числовые значения определяют точное соответствие классам объектов или порядок возрастания, или убывания данных; иногда они фиксируют интервалы изменения данных или их пропорциональность. Для пространственного геокодирования используют всевозможные границы, *не зависящие от самих данных* (административные границы, контуры тематических полигонов и т. п.). Примером таких данных служит информация о численности населения в определенных областях, привязанная к некоторой точке внутри полигона.

Для случаев, когда классы объектов определяются совокупностью разнообразных параметров (атрибутов), необходимы методы многопараметрических классификаций (кластеризации) или многомерного статистического анализа (факторного, компонентного). Однако эти методы не очень удобны при работе с пространственно привязанными данными.

Функциональные возможности большинства ГИС-пакетов включают наборы инструментов, обеспечивающих выполнение базовых ГИС-технологий анализа: построение запросов и выбор объектов по пространственным критериям, выполнять наложение, созда-

вать буферные зоны, вычислять статистику, выполнять анализ близости и многое другое.

### **Анализ и управление таблицами**

Данные в БД ГИС, управляемых реляционной СУБД, хранятся либо в виде отдельных таблиц атрибутов, связанных с пространственными объектами реляционными отношениями или общим атрибутом, либо как в объектно-ориентированных моделях БД – с обязательным полем атрибута геометрии. К основным операциям управления таблицами принято относить:

- редактирование таблиц, добавление или вычисление новых атрибутов, подсчет суммарной статистики,
- соединение или связывание таблиц по общему ключевому полю,
- создание пространственных объектов из данных таблиц.

На основе *анализа табличных данных* можно получить информацию о количестве объектов, принадлежащих к заданной категории, о типе их распределения, частоте встречаемости, степени отличия показателей.

*Соединения и связи между слоями и атрибутивными таблицами*

Пространственно связанные данные обычно хранятся в нескольких слоях и таблицах, например, слой земельных участков и таблица с данными земельного кадастра. Для создания запросов и редактирования связанных данных необходима их идентификация, среди способов которой используют соединения, связи и пространственные соединения.

*Соединение (join)* – при соединении двух таблиц атрибуты из одной таблицы присоединяются к другой таблице на основании общего поля. Соединение таблиц создает отношение один к одному или много к одному между таблицей атрибутов слоя и таблицей, содержащей информацию, которую необходимо присоединить.

*Связь (relate)* – определяет отношение между двумя атрибутивными таблицами по общему ключу и позволяет получать доступ к связанным данным при работе с атрибутами слоев. Связь аналогична простейшим отношениям классов, при этом она может использовать данные из различных рабочих областей. В отличие от соединения, связанные данные не добавляются в таблицу атрибутов слоя. Опция «Связать» (или «Создать класс отношений»)

используется для создания отношений один ко многим или многие ко многим. Связи преимущественно используются для надписывания и назначения символов слою, на основе связанных данных. Связи работают в двух направлениях, поэтому обе таблицы могут использовать связь, независимо от того, какой из них она принадлежит. Большинство руководств по разработке баз данных рекомендуют строить ее на основе множества атрибутивных таблиц, каждая из которых посвящена отдельной теме, вместо создания одной большой таблицы, содержащей все необходимые поля. Такая схема предотвращает дублирование информации в базе данных, так как информация содержится только в одной таблице. Если нужна информация, которая не содержится в текущей таблице, можно связать две таблицы.

*Пространственное соединение (spatial join)* – используется в случаях, если у слоев карты нет общих атрибутивных полей. Тогда пространственные данные можно соединить посредством пространственного соединения. Эта опция соединяет атрибуты двух слоев на основании местоположения пространственных объектов в слое. Пространственные соединения отличаются от соединения по атрибутам тем, что они не являются динамическими и результаты нужно сохранять в новом результирующем слое.

Процедура пространственного соединения для каждой точки, полигона или комбинации линий позволяет использовать один из трех типов связей, чтобы найти:

- ближайшие объекты по отношению к другим объектам; при этом возможно либо добавить атрибуты ближайшего объекта, либо добавить множество численных атрибутов ближайших объектов (min, max и т. д.);
- что расположено внутри объекта, сопоставляя каждый объект с объектом внутри; в этом случае добавляются атрибуты объекта, находящегося внутри текущего объекта (примеры: точка, находящаяся внутри полигона или сегмент линии, полностью находящийся внутри другого сегмента (перекрываемый им); можно также вычислить, сколько точек находится внутри каждого полигона);
- что пересекает объект, сопоставляя каждый объект с пересекающим объектом, или объектами; как и в случае с комбинацией по ближайшему объекту (объектам) возможно либо до-

бавить атрибуты отдельного пересекающего объекта, либо множество численных атрибутов пересекающих объектов.

*Создание пространственных объектов из данных таблиц* – процедура, применяемая для пространственной визуализации наборов данных статистики. Необходимо иметь две таблицы – с атрибутами или набором пространственных объектов (например, населенных пунктов) и с данными статистики для этих объектов. Обычно к слою присоединяют таблицу с данными на основании значений ключевого поля (например, название или идентификатор), которое присутствует в обеих таблицах. Название поля в таблицах может различаться, но тип поля должен быть один и тот же: числовые поля соединяются с числовыми, строковые со строковыми и т. д. В этом случае таблицы можно соединить по общему полю и создать объекты с новыми атрибутами, либо присвоить объектам дополнительные атрибуты из автономной таблицы. Таблицы, хранящие в полях значения координат  $X$ ,  $Y$ , например, точек наблюдений, используют для создания слоя точечных объектов в БГД. Соединение таблиц с данными из разных источников в сочетании с процедурами пространственных соединений и оверлея, выборкой и расчетом значений в полях широко применяется при выполнении пространственного анализа.

### **Выбор объектов по пространственным критериям. Построение запросов**

Выделение объектов по пространственным критериям осуществляется на основе поиска в пространственной БД объектов, удовлетворяющих заданному условию или условиям. Задание на такой поиск данных, называемый «запрос», формулируется посредством языка общения пользователя с СУБД. В ГИС-пакетах используют *язык запросов* и *запрос по шаблону* (образцу). В процессе выполнения запроса возможно выполнение дополнительных операций, например, сортировка данных, суммирование, осреднение и т. п. Поиск пространственных объектов по условиям, содержащим координаты или функции от них (например, расстояния), в окне прямоугольной или иной формы осуществляется *по пространственному запросу*. Условие запроса может быть представлено числом (расстояние), логическим выражением (OR, AND) или их сочетаниями, линейными функциями от координат или системами линей-

ных неравенств (в задачах, использующих методы линейного программирования) или указано курсором мыши, если это предусмотрено графическим интерфейсом пользователя.

Найденные по запросу объекты обычно переносятся в новый слой, при этом содержимое старого слоя может оставаться неизменным. В противном случае содержание тематической БД корректируется. Для вновь образованного слоя создается новая БД, либо добавляются записи в старую.

В различных процедурах пространственного запроса широко используется пространственно-аналитическая операция, основанная на поиске двух ближайших точек среди заданного их множества.

Построение пространственных запросов (критериев) используется при зонировании территории – построении новых объектов (зон), которые представляют собой однородные относительно некоторого признака участки территории, удовлетворяющие определенным условиям. Границы зон могут определяться заданным расстоянием от указанных старых объектов, совпадать с границами таких объектов или создаваться на основе моделирования (например, зоны распространения загрязнения от точечного источника).

Пространственные запросы часто выполняются в сочетании с построением буферных зон, например для зонирования территории по степени опасности, или решения проблем оценки недвижимости.

### **Оверлей (наложение) объектов**

Потребность в совместном анализе атрибутов объектов, полностью или частично перекрывающихся в пространстве, возникает постоянно в задачах, основанных на взаимосвязях тематических слоев БД ГИС. Необходимое условие выполнения операций совместного анализа слоев – их позиционная и семантическая согласованность. При установлении взаимосвязей двух различных пространственных объектов А и В необходимо рассматривать две проблемы:

- присоединения атрибутов, в случаях типа «А содержит В или А содержится в В»,
- перекрытия и пересечения атрибутов, в случаях типа «А пересекает В или А перекрывается В».

Когда объекты А и В представлены линиями или полигонами различной формы, первый шаг логического поиска может заключаться в определении новых областей или сегментов линий. Для решения такой задачи применяются операции оверлея – наложения друг на друга двух или более слоев, в результате чего образуется графическая композиция исходных слоев (графический оверлей) или один слой, содержащий композицию пространственных объектов исходных слоев, топологию этой композиции и атрибуты, арифметически или логически производные от значений атрибутов исходных объектов (топологический оверлей в векторном представлении пространственных объектов). Применение операций оверлея слоев являются базовыми операциями пространственного анализа данных, изучения взаимосвязей географических объектов, пространственного моделирования. Базируются они на координатной совмещенности данных, которая позволяет накладывать слои в БД ГИС. Предполагается, что слои представлены в одной системе пространственных координат, проекции и масштабе. При этом результат зависит от типа пространственных объектов (точки, линии, полигоны), от того как перекрываются слои – полностью или частично – используются ли топологические свойства или нет, а также от целей географического анализа.

В случае анализа полигонов процесс анализа известен как «оверлей и пересечение полигонов» и приводит к образованию новых пространственных объектов. Такой процесс может дать разные результаты в зависимости от того, какая операция применена: пространственное соединение, перекрытие или пересечение.

В первом варианте осуществляется простой оверлей – соединение двух карт, при котором границы всех полигонов сохраняются; во втором – вторая карта покрывает первую и локально изменяет ее детали; в третьем – покрывающая карта используется для вырезания небольшой части первой карты.

Ключевыми элементами наложения пространственных объектов являются входной слой, слой наложения и выходной слой. Функция наложения разбивает пространственные объекты во входном слое там, где они перекрываются пространственными объектами слоя наложения. Новые области создаются в местах пересечения полигонов. Если входной слой содержит линии, они разбиваются в местах, где их пересекают полигоны. Эти новые пространствен-

ные объекты хранятся в выходном слое, исходный входной слой не изменяется. Атрибуты пространственных объектов в слое наложения присваиваются соответственно новым пространственным объектам в выходном слое вместе с исходными атрибутами входного слоя.

Набор технологий оверлея в ГИС-пакетах содержит инструменты для наложения нескольких классов пространственных объектов и позволяет объединять, стирать, изменять или удалять пространственные объекты, сохраняя результаты в выходном классе объектов. Новая информация создается путем наложения одного набора пространственных объектов на другой. Существует несколько типов операций наложения; все они объединяют два имеющихся набора объектов в один новый, идентифицирующий пространственные отношения между входными объектами. Рассмотрим разные аспекты применения технологий их реализации для создания новых наборов пространственных данных.

Инструмент «Стирание» (*Erase*) создает класс пространственных объектов путем наложения **входных объектов** на полигоны **стирающих объектов**. В выходной класс объектов копируются только те части входных объектов, которые выходят за пределы границ стирающих полигонов.

Инструмент «Идентичность» (*Identity*) вычисляет геометрическое пересечение между входными объектами и объектами идентичности. К входным объектам или их частям, которые совпадают с объектами идентичности, присоединяются атрибуты соответствующих объектов идентичности.

Инструмент «Пересечение» (*Intersect*) вычисляет геометрическое пересечение между входными объектами двух слоев в пределах их общего пространственного распространения. Пространственные объекты или части объектов, которые перекрываются во всех слоях и/или классах пространственных объектов, будут записаны в выходной класс объектов.

Инструмент «Объединение» (*Union*) вычисляет геометрическое объединение полигонов двух слоев (булев оверлей) с образованием комбинаций полигонов и атрибутов входных объектов. В выходной класс объектов будут записаны все объекты и их атрибуты.

Инструмент «Обновление» (*Update*) вычисляет геометрическое пересечение **входных объектов с корректирующими объек-**

**тами.** Атрибуты и геометрия входных объектов заменяются атрибутами и геометрией корректирующих объектов.

Инструмент «Слияние» (*Dissolve*) выполняет объединения смежных объектов, принадлежащих одному классу; применяется, как правило, для упрощения больших наборов данных, содержащих полигональные или линейные объекты с одинаковыми значениями атрибутов. Такая операция позволяет уменьшить число объектов (например, оцифрованные отрезки одной улицы), исключая лишние записи в таблицах атрибутов и сохраняя поля других атрибутивных значений.

Инструмент «Вырезание» (*Clip*) используется в случаях, когда необходимо выбрать (вырезать) часть одного слоя, используя один или больше полигонов другого слоя как ограничивающую маску, и тем самым создать новый слой, который содержит географическое подмножество объектов большего слоя. Например, задача состоит в изучении транспортных сетей некоторой области, а исходные данные о дорогах в базе данных охватывают всю территорию страны. Для выполнения анализа удобнее создать рабочий слой, который содержит только дороги (или части дорог), попадающие в границы области. Для этого можно применить операцию вырезания к слою государственной дорожной сети, используя полигон области как резак для создания нового слоя. Подобным способом можно вырезать объекты других типов – точечные, линейные или полигональные.

Используются также разновидности перечисленных инструментов для выполнения объединения пространственных данных: инструмент объединения слоев с созданием нового слоя с полями атрибутов, соответствующих указанному пользователем (*Merge*) и инструмент пространственного объединения двух слоев, основанного на пространственных отношениях (взаимном расположении) объектов этих тем (*Assign data by location*).

### **Анализ взаимного расположения**

Инструменты анализа близости могут быть подразделены на две категории в зависимости от типа входных данных, с которыми работают инструменты: векторные пространственные объекты или растры. Инструменты для работы с пространственными объектами отличаются по типам выходных данных, которые они произво-

дят. К ним относится инструмент *построения буферных зон (Buffer)*, который позволяет создавать полигональные области (соответственно новые полигональные объекты) вокруг некоторого географического объекта или набора объектов. Буферная зона – это площадной (полигональный объект), границы которого находятся на равном удалении на заданную величину от выбранного объекта. Буферные зоны строятся автоматически средствами ГИС-пакетов, причем они могут создаваться вокруг объектов любых типов – точек, полилиний, площадей и т.д. В результате буферизации создается новый полигон, включающий исходный объект. Обычно построение буферных зон выполняют для определения охранных зон, зон дальности действия и т. д.

Инструмент построения буферных зон на выходе создает полигональные пространственные объекты, которые затем могут быть использованы инструментами наложения и пространственной выборки, такими как выбор в слое по местоположению (*Select Layer By Location*). Этот инструмент позволяет изменить набор выбранных пространственных объектов посредством поиска объектов в одном слое, которые находятся на заданном расстоянии (или соответствуют одному из нескольких пространственных отношений) от объектов в другом классе пространственных объектов или слое. В отличие от других инструментов по работе с векторными данными, инструмент выборки по расположению не создает новые пространственные объекты или атрибуты.

Инструменты построения буфера (*Buffer*) и множественного буфера (*Multiple Ring Buffer*) создают области пространственных объектов на указанном расстоянии (или на нескольких указанных расстояниях) вокруг входного объекта.

Ширина буферной зоны определяется заданным расстоянием, которое для каждого выбранного объекта в слое может быть одинаковым или различным, задаваемым числовым атрибутом. Числовые значения в поле атрибутивной таблицы можно использовать также для создания множества концентрических буферных зон заданной ширины. Если нет необходимости в создании буферов вокруг отдельных объектов, можно обобщить границы между смежными областями; при этом все буферные полигоны будут сгруппированы в один объект, определяемый одной записью в таблице атрибутов.

## Особенности применения инструментов оверлея

*Соединение пространственных данных.* Эта операция востребована, когда нужно объединить смежные слои, полученные, например, цифрованием смежных листов топографической карты, в один большой слой. При этом объекты в слоях могут накладываться или нет. В первом случае объекты просто перекрываются, не создавая новых. Во втором случае доли объектов по краям смежных слоев должны определяться одинаковыми атрибутами и тогда они будут совмещены по координатам. Для новых объектов в таблице атрибутов необходимо обновить значения площади, периметра, или длины линий.

Операция объединения, примененная к полигональным слоям, имеющим одинаковые координатные ограничения, позволяет создать их геометрическую комбинацию и получить новый слой. При этом вычисляются координаты всех точек пересечения контуров полигонов двух слоев. В результате оверлея границы полигонов будут подразделены на множество отрезков, создающих новые полигоны, которые унаследуют атрибуты обоих исходных слоев, т. е. новый слой будет содержать оба набора входных атрибутивных полей.

В векторном формате объединить два слоя и сохранить все объекты можно независимо от того, совпадают или нет координатные ограничения слоев. Объекты исходного слоя или их части, перекрывающиеся идентичными объектами оверлейного слоя, получают дополнительно атрибутивную информацию последних и приписываются к новому (результатирующему) слою. Его координатные ограничения совпадают с ограничениями первого слоя. Объекты исходного слоя, не перекрывающиеся идентичными объектами оверлейного слоя, также приписываются к новому слою, но не получают дополнительных атрибутов.

*Пересечение пространственных данных.* Операция пересечения вычисляет геометрическое пересечение двух слоев, а также позволяет объединить объекты двух слоев в третий слой. Но в отличие от процедуры объединения, при этом сохраняются только объекты, попадающие в пределы координатных ограничений, общих для обоих слоев. Нужно иметь в виду, что в разных ГИС-пакетах такая операция реализуется по-разному, предоставляя пользователю разные возможности для анализа данных. Входные

слои могут быть точечные, линейные или полигональные, но слой, полученный операцией пересечения (оверлейный слой) должен быть полигональным. Все входные объекты, которые пересекают внутренние границы полигонов оверлейного слоя, будут разделены и записаны в новый файл в новом слое. Любые объекты входного слоя, пространственно не совпадающие с полигональными объектами оверлейного слоя, игнорируются. Выходной класс объектов будет иметь тот же самый тип геометрии, что и объекты входного слоя и унаследует атрибуты обоих входных слоев.

В ГИС-пакетах, работающих с векторно-топологической моделью данных (например, *ArcGIS*) операция пересечения может быть применена к слоям различной геометрии. По умолчанию тип геометрии на выходе тот же самый, что и у слоя с самой низкой геометрической размерностью. Задание различной геометрии результата операции приведет к различным типам пересечения входных классов объектов, например, задавая точечный тип вывода при оверлее двух полигональных слоев, операция пересечения создаст только слой точек, где пересекаются границы полигонов. Когда все входные слои точечные, операция пересечения позволит определить, какие точки являются общими для всех входных слоев. Например, можно применить операцию пересечения линейного и точечного слоев, чтобы найти точки, которые лежат на линейных объектах (дорога проходит через населенный пункт).

Операция пересечения в «топологических» пакетах может быть применена к одному входному слою. В этом случае, вместо обнаружения пересечений между объектами различных слоев, операция позволит обнаружить пересечения между объектами в пределах одного слоя. Так, может быть полезным обнаружение перекрытия полигонов и пересечения линий (как точки или линии).

Подобно соединению двух таблиц, основанному на общих атрибутивных показателях (одинаковых полях), можно соединять таблицы, основываясь на пространственном местоположении объектов (выполнить пространственное присоединение). Эта операция создает новый слой, содержащий оба набора атрибутов. Получаемая дополнительная атрибутивная информация позволяет построить запрос к данным новым способом. При применении процедуры соединения следует знать ограничения ее применения в «нетопологических» ГИС-пакетах.

## Сетевой анализ

Сетевой анализ стал востребован особенно в последнее время, в связи с созданием многочисленных муниципальных ГИС. Он позволяет решать различные задачи на пространственных сетях связанных линейных объектов: дороги, сети улиц, реки, трубопроводы, сети водопроводов, электрических и телефонных кабелей и др. Сеть состоит из линий, которые могут пересекаться с другими в точке, называемой «узел». Для своего анализа важным является способ пересечения – из/в, из/через, из/под, примыкает. На дорогах таким способом может соответствовать перекресток, мост, туннель, что при анализе в ГИС требует задания типа топологической связи соответствующих линейных объектов.

При анализе пространственных сетей связанных линейных объектов (сетевом анализе) пространственные критерии используются для определения кратчайшего пути, зон влияния на другие объекты сети, почтового адреса и т. п. Задачи сетевого анализа связаны также с определением оптимальных маршрутов, построением зон обслуживания, размещением и определением ближайших точек предоставления сервиса. Такие задачи чаще всего встречаются в логистике – оптимизации перевозок, а также в геомаркетинге и оптимизации местоположения пунктов обслуживания (магазинов, складов, пожарных депо и т. д.). В основе решения этих задач лежит сетевая модель данных, являющаяся частным случаем векторной модели пространственных данных. Как пространственный объект такая геометрическая сеть обладает особым свойством – топологическим форматом хранения данных. Например, в сетевой модели дорожная сеть представляется в виде графа, образованного совокупностью связанных *ребер* (линейных объектов) и *вершин* (точек). Хранение такой связности ребер и вершин предоставляет удобство редактирования графа как связанной конструкции и, главное, обеспечивает возможность ее пространственного анализа. При анализе геометрических сетей в *ArcGIS* используются еще два важных понятия: *флаг* – точка, относительно которой осуществляется трассировка сети, *барьер* – точка, запрещающая проход по ребру графа или его вершине. Анализ такой сети позволяет, например, для замыкающего створа на реке определить все притоки, расположенные выше по течению или быстро трассировать путь воды вниз по течению вплоть до устья основной реки бассей-

на; при анализе транспортных сетей решить задачи прокладки кратчайшего маршрута, расчета зон доступности и управления парком транспортных средств.

Еще одно свойство геометрической сети, которое нужно устанавливать при ее построении – это направление: два направления (например, для транспортной сети), или одно определенное направление (например, вниз по течению). Для задания направления необходимо создать новый точечный слой и, например, для речной сети поставить в нем только одну точку, расположенную ниже всего по течению.

Чтобы понять значение и важность понятия связности, следует учитывать, что объекты обычно не обладают информацией о существовании друг друга. Например, если два линейных объекта пересекаются, ни одна из линий не обладает информацией о существовании другой. Аналогичным образом точечный объект в конце линейного объекта не обладает специфической информацией, дающей ему представление о существовании линии. Хранящаяся в наборе сетевых данных политика связности (которую можно изменять) позволяет при анализе сети определять, какие из совпадающих объектов действительно связаны. Благодаря этому можно моделировать тоннели и путепроводы для установления связи между дорогами.

Существует два типа правил связности: правила ребро-соединение и правила ребро-ребро. Правило ребро-соединение является правилом связности, которое определяет, что ребро типа *A* может присоединяться к соединению типа *B*. Правило ребро-ребро является правилом, определяющим, что ребро типа *A* может соединяться с ребром типа *B* через ряд соединений. В правилах ребро-ребро всегда есть ряд соединений.

Правила связности сети описывают, как будут настроены правила *ребро-соединение* и *ребро-ребро*. Для простоты каждая операция выполняется отдельно, но любое число правил может быть выполнено или изменено в сети одновременно.

Создать набор сетевых данных можно несколькими способами. Лучше всего создавать набор сетевых данных из классов объекта в наборе данных объекта базы геоданных. Так как набор данных объекта может хранить и легко взаимодействовать с несколькими классами пространственных объектов, набор сетевых

данных может поддерживать несколько источников и моделировать мультимодальную сеть.

Для создания и анализа сетей в *ArcGIS* используется дополнительный модуль *ArcGIS Network Analyst*, который при поиске кратчайшего пути производит сравнительный анализ общей длины сегментов и различных вариантов маршрутов между расположениями. При поиске районов обслуживания выполняется анализ максимального расстояния вдоль каждого доступного сегмента сети, и конечные пункты этих путей становятся точками на периметре полигона зоны обслуживания. Подробное изучение модуля не входит в задачи практикума.

К задачам сетевого анализа относится задача *размещения-распределения (Location-Allocation)*. Она формулируется следующим образом: существует  $N$  потенциальных точек для размещения пунктов обслуживания (магазины, кафе, пожарные станции, транспортные узлы, сервисные центры и т. д.), а также  $K$  точек пунктов потребления – расположения клиентов этого обслуживания (обычно это здания, из которых выезжают люди за услугами, или к которым эти услуги поставляются). Необходимо из  $N$  точек обслуживания выбрать  $n \leq N$  точек таким образом, чтобы минимизировать некую стоимостную функцию (например, суммарное время движения от каждого пункта потребления до ближайшего пункта обслуживания). После чего распределить точки по ближайшим пунктам обслуживания. Данный тип анализа позволяет также моделировать противостояние конкурирующих сетей обслуживания и подбирать оптимальные места размещения пунктов для максимального охвата рынка.

Типичным примером использования полученного распределения является районирование территории – объединение полигонов, отнесенных к одному пункту обслуживания. Такая задача решается путем построения *диаграммы Вороного* или *полигонов Тиссена* для точек потребления (раздел 5).

Диаграмма Вороного обладает следующим свойством: какую бы точку мы не взяли внутри каждого полигона, она будет ближе к центроиду этого полигона, чем к любому другому центроиду. Объединив полигоны Вороного, точки которых отнесены к одному и тому же центру обслуживания, получаем районирование территории по зонам обслуживания.

## **3.2. Задание практикума**

### ***Цель***

Задание посвящено освоению базовых ГИС-технологий пространственного анализа с использованием векторной объектно-ориентированной модели реальности, в которой пространственные объекты представлены в виде отдельных геометрических фигур с набором атрибутов. Векторная модель удобна как для анализа формы, размеров объектов, так и для географического анализа их взаимосвязей в пространстве. Типичные операции запросов и оверлея, а также сетевого анализа позволяют создавать новые графические композиции объектов, географически пересекающихся в пространстве, и анализировать их новые атрибутивные описания, определять пространственную приуроченность двух явлений на основе процента взаимного покрытия площадей их проявления, выявлять оптимальные маршруты, строить зоны обслуживания, определять и размещать ближайшие сервисные точки.

### ***Необходимые знания***

Понятие пространственного анализа.

Построение пространственных и атрибутивных запросов.

Основы реляционных баз данных.

Типы взаимосвязей между таблицами (осуществление множественных запросов, связи один к одному, многие к одному, один ко многим).

Соединение и связывание реляционных атрибутивных таблиц.

Построение и использование буферных зон.

Операции оверлея и их отличия.

Понятие сетевой модели данных.

Анализ и построение реальных и геометрических сетей.

### ***Ключевые слова***

Базовые технологии ГИС, оверлей, статистика пространственных пересечений, статистические данные, соединение таблиц, внешний и внутренний ключ соединения, визуализация статистических данных, кратчайший маршрут, картограммы, картодиаграммы.

### 3.3. Упражнения

#### Упражнение 8. Тематическое картографирование на основе данных атрибутивных таблиц

##### *Задачи*

В основе многих социально-экономических карт лежат статистические данные, которые обычно предоставляются в табличном виде. Задание посвящено знакомству с созданием карт в среде ГИС на основе табличных и векторных данных. В качестве примера используется официальная статистика Евросоюза, размещенная на сайте NUTS. Попутно при выполнении задания происходит знакомство с операцией соединения таблиц.

##### *Исходные данные*

Слои, созданные на основе статистических данных Евросоюза NUTS, и таблицы показателей с портала NUTS.

**Внимание:** для выполнения задания требуется подключение к сети Интернет!

##### *Результат*

Соединенные таблицы атрибутов.

Карта количества транспортных средств в Швейцарии по единицам административно-территориального деления 3-го уровня.

Карта плотности и структуры населения Швейцарии по единицам 3-го уровня.

#### **Загрузка географических данных с сайта NUTS**

1. Перейдите на главную страницу NUTS и прочитайте краткую информацию на ней:

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts\\_nomenclature/introduction](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/nuts_nomenclature/introduction)

2. Выберите в правой части окна пункт меню NUTS Geodatafiles at GISCO.
3. Скачайте файлы NUTS 2010 для масштаба 1:3 Million в формате Personal GDB и сохраните их себе в каталог Ex8.

#### **Загрузка таблиц с сайта NUTS**

1. На главной странице NUTS выберите в правой части окна пункт меню *Statistics on regions and cities*.
2. На сайте статистики NUTS выберите пункт *Database*, чтобы перейти к просмотру таблиц базы данных.

3. Найдите таблицу с данными о плотности населения по регионам *Population density – NUTS 3 regions (demo\_r\_d3dens)* и нажмите иконку слева от нее.
4. Нажмите *Table Customization– Show*, чтобы настроить содержание таблицы.
5. Установите режим *Codes*, чтобы в первом столбце отображались уникальные идентификаторы вместо названий единиц административно-территориального деления.
6. Нажмите кнопку *Download*, чтобы скачать таблицу.
7. В появившемся окне нажмите кнопку *Download in Excel format*, не меняя никаких настроек.

Скачайте аналогичным образом таблицу *Stock of vehicles by category and NUTS 2 regions (tran\_r\_vehst)*, содержащую статистику по количеству зарегистрированных транспортных средств в регионах.

### **Скачивание структурных таблиц с сайта NUTS**

1. Найдите таблицу *Population on 1 January by broad age groups and sex – NUTS 3 regions* и откройте ее.
2. Нажмите кнопку *Select Data* в заголовке сайта.
3. В левой части окна выберите вкладку *AGE*, отметьте галочками все пункты и нажмите *UPDATE*, чтобы обновить таблицу.
4. Нажмите вкладку *View Table* в верхней части окна, чтобы перейти к просмотру таблицы.
5. Выделите мышкой показатель *Age* и переместите его в таблицу на место показателя *TIME*.

Таблица должна приобрести вид, в котором показана структура населения по трем категориям: до 15 лет (дети), 15–64 года (трудоспособные) и старше 64 лет (пенсионеры). Помимо этого, есть поле *Unknown* для населения неустановленной возрастной категории.

6. Включите режим показа кодов вместо названий единиц административно-территориального деления.
7. Загрузите таблицу в формате *Microsoft Excel*.

### **Форматирование таблиц для загрузки в ГИС**

Чтобы скачанные таблицы можно было использовать в ГИС, их нужно отформатировать следующим образом.

1. Удалите все строки выше заголовка.
2. Переименуйте поле *GEO/TIME* в *GEO*.
3. Переименуйте поля таким образом, чтобы они не содержали пробелов, символов “ / “, “ - ” и тому подобных; символ подчеркивания “ \_ ” допускается. Название поля должно начинаться с буквы.
4. Установите столбцам показателей числовой формат с необходимым числом десятичных знаков.
5. Сохраните таблицы под названиями:
  - *Density.xls* (плотность населения),
  - *Population.xls* (структура населения),
  - *Vehicles.xls* (число зарегистрированных транспортных средств).

### Подготовка проекта

1. Откройте *ArcMap* и создайте новый документ карты в каталоге *Ex8*.
2. Добавьте на карту слой *Countries* из базы данных *MapData.gdb* упражнения 2.
3. Добавьте на карту слой *NUTS\_RG\_03M\_2010* из базы данных, которая загружена с сайта. Она находится в каталоге *PGDB/data*.
4. Присвойте добавленному слою символ полигона без заливки с обводкой красного цвета и переименуйте его в *NUTS*.
5. Выделите в таблице слоя *NUTS* строку, в которой *NUTS\_ID* = «CH», которая соответствует региону Швейцарии. Обратите внимание на то, что таблица может быть отсортирована не по алфавиту, а по статусу единицы административно-территориального деления.
6. Выделите все регионы, находящиеся внутри выделенной единицы, используя пространственный запрос со следующими параметрами:

Слой искомых объектов	NUTS
Слой-источник	NUTS
Пространственный запрос	Are within the layer feature

7. Создайте новый слой на основе выбранных объектов, он получит название «*NUTS selection*».
8. Отключите исходный слой *NUTS*.

### Отображение картодиаграмм по единицам второго уровня

1. Скопируйте слой *NUTS selection*, вставьте и назовите его «*Транспортные средства (NUTS 2)*».
2. Дважды щелкните на полученном слое и перейдите на вкладку *Definition Query* (определяющий запрос).
3. Используя определяющий запрос в окне конструктора запроса включите единицы 2-го уровня, введя строку:

[STAT\_LEVEL\_CODE] = 2

При вводе строки используйте двойной щелчок на названии вместо ввода текста вручную.

4. Добавьте на карту лист «Data» таблицы *Vehicles* и переименуйте его в *Vehicles*.
5. Раскройте таблицу слоя *Транспортные средства*, чтобы просмотреть состав атрибутивных полей. Таблица содержит поле *NUTS\_ID*, содержащее уникальные идентификаторы единиц NUTS.
6. Присоедините таблицу *VEHICLES* к слою *Транспортные средства*, используя следующие параметры:

Ключевое поле слоя	NUTS_ID
Присоединяемая таблица	VEHICLES
Ключевое поле таблицы	GEO

Раскройте таблицу слоя *Транспортные средства (NUTS 2)*, чтобы убедиться в результате.

7. Включите для слоя *способ градуированных символов* (картодиаграммы), используя следующие параметры:

Поле показателя	2011 год
Размер значка	От 15 до 60
Метод классификации	Равноинтервальный с шагом 200 (метод <i>Defined Interval</i> )
Фоновый символ	Без заливки

Цвет диаграммы выберите по своему усмотрению.

- Переименуйте название показателя в таблице слоев в «тысяч штук».

### Отображение картограмм по единицам третьего уровня

- Скопируйте слой *NUTS selection* и назовите его «Плотность населения (*NUTS 3*)».
- Включите единицы третьего уровня, по аналогии с единицами второго уровня.
- Добавьте на карту лист *Data* таблицы *Density* и переименуйте его в *DENSITY*.
- Присоедините таблицу *DENSITY* к слою *Плотность населения*, используя те же поля, что и для транспорта.
- Включите для слоя метод отображения *Graduated Colors* (картограммы), используя следующие параметры:

Поле статистики	2011 год
Цветовая шкала	От желтого к коричневому (по умолчанию)
Метод классификации	Дженкса (естественных интервалов)
Количество интервалов	5

- Переименуйте название показателя в таблице содержания в «чел./кв. км».
- Перенесите слой со статистикой транспорта так, чтобы он располагался поверх слоя плотности населения и увеличьте толщину обводки полигонов до 1,5 пиксела.

Результат позволяет одновременно показывать статистику по двум уровням иерархии.

### Отображение структурных картодиаграмм по единицам третьего уровня

- Скопируйте слой *NUTS selection* и назовите его «Структура населения (*NUTS 3*)».
- Включите единицы третьего уровня.
- Добавьте на карту лист *Data* таблицы *Population* и переименуйте его в *POPULATION*.
- Присоедините таблицу *POPULATION* к слою *Структура населения*.
- Определите русскоязычные псевдонимы полям на вкладке *Fields*:

- Y\_LT15 – моложе 15 лет,
- Y\_15\_64 – от 15 до 64 лет,
- Y\_GE65 – старше 64 лет,
- TOTAL – человек.

6. Включите для слоя метод отображения *Pie Charts (секторные картодиаграммы)*, используя следующие параметры.

Поля статистики	моложе 15 лет, от 15 до 64 лет, старше 64 лет
Цвета	Выберите на свой вкус
Минимальный размер	5
Размер	По полю «Человек» (TOTAL)

Структура населения в целом очень похожа по регионам, при этом незначительно варьируется численность населения пенсионного и нетрудоспособного населения.

### Оформление итоговых карт

1. Добавьте на карту слой городов из базы геоданных.
2. Используя определяющий запрос, оставьте только те города, у которых значение поля *Pop\_Rank*  $\leq 6$ . Это города с населением 50 000 человек и более.
3. Оформите слой городов, как в упражнении 2, разделив их на классы.
4. Включите подписи стран.
5. Перекрасьте страны в нейтрально-серый цвет.
6. Установите масштаб карты равным 1:2 000 000.
7. Переключитесь в режим компоновки и установите альбомную ориентировку.
8. Подгоните размер фрейма таким образом, чтобы он охватывал страну с небольшим запасом.

Пока не обращайтесь внимания на то, что слои перекрывают друг друга. При экспорте будет оставлен включенным только один из них.

9. Добавьте на карту легенду, включив в нее слои *Транспортные средства*, *Структура населения* и *Плотность населения*.
10. Переведите элементы легенды на русский язык и сотрите заголовок легенды.

11. Вставьте заголовок карты «ШВЕЙЦАРИЯ» и масштабную линейку.

### **Экспорт карты числа транспортных средств**

1. Отключите слои плотности населения и структуры населения. В легенде останется только слой с картодиаграммами.
2. Отредактируйте подписи классов таким образом, чтобы убрать у них незначащие нули.
3. Экпортируйте карту в графический файл формата *png* с разрешением 300 dpi.

### **Экспорт карты населения**

1. Включите слои плотности населения и структуры населения. Отключите слой транспортных средств.
2. Включите отображение названия слоя в легенде для слоя *Структура населения*.
3. Уберите незначащие нули в подписях классов слоя плотности населения, оставив один знак после запятой.
4. Экпортируйте карту в графический файл формата *png* с разрешением 300 dpi и сохраните в папке отчета.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 9. Анализ пространственных взаимосвязей на основе векторных данных**

### ***Задачи***

Векторная модель удобна для анализа формы, размеров объектов и их взаимной конфигурации в пространстве. В частности, сопоставление границ объектов, их перекрытий методом оверлее позволяет установить, насколько географическое распределение объектов одного типа коррелирует с распределением объектов другого типа.

*При оверлее происходит наложение двух или более слоев, в результате чего образуется их графическая композиция. Полученные участки наследуют атрибу-*

ты от каждого слоя. Эта операция базируется на стандартных отношениях множеств, таких как пересечение, объединение и симметрическая разность.

Помимо решения чисто технических задач согласования и интеграции данных ГИС оверлей позволяет понять, какие комбинации объектов встречаются в пространстве. В задании предлагается исследовать методом оверлея взаимосвязь типов рельефа и типов и подтипов почв.

### **Исходные данные**

База данных ГИС «Сатино».

### **Результат**

Таблица сочетаний типов рельефа и подтипов почв.

### **Визуальный анализ слоев**

1. Скопируйте папку *Ex9* в рабочий каталог с помощью Проводника.
2. Откройте *ArcMap* и в нем – окно *Catalog*.
3. Найдите базу геоданных *Satino.gdb* в каталоге *Ex9* и перенесите на карту два тематических слоя: *SoilTypes* (Типы почв) и *RelTypes* (Типы рельефа) из группы *Thematic*.
4. Поместите слой *Типы рельефа* вниз таблицы содержания, откройте его свойства (двойным щелчком на названии) и перейдите на вкладку *Symbolology*.
5. Выберите тип отображения *Categories* и в нем – режим *Match to Symbols in a style*, который позволяет настроить символы в соответствии с заранее определенным стилем.
6. В качестве определяющего поля *Value field* выберите *Тип рельефа*. Далее нажмите кнопку *Browse* и выберите стиль *Satino.style*, лежащий в каталоге *Ex9*. Нажмите кнопку *Match symbols*. Снимите флажок со строки *<All other values>*. Нажмите *OK*.
7. Настройте отображение слоя *Типы почв* в виде полигонов без заливки с ярко-красной обводкой толщиной 1.5 пиксела. Чтобы сделать полигон без заливки, необходимо выбрать в меню *Fill Color* режим *No Color*. Нажмите *OK*.
8. Выберите инструмент идентификации (i) и щелкните в пределах карты на любом полигоне.

9. Переведите инструмент идентификации в многослойный режим. Для этого в окне *Identify* раскройте верхний список *Identify From* и выберите пункт *<All layers>*. Попробуйте идентифицировать полигоны в разных участках карты, обращая внимание на информацию, которая отображается в окне идентификации.

***Проанализируйте совмещенное изображение границ типов почв и рельефа. Есть ли какие-то совпадения или подобия рисунков в пределах речных долин, междуречий, малых эрозионных форм?***

Теперь, когда данные исследованы визуально и путем запросов идентификации, можно перейти к анализу с помощью оверлея. Предварительно следует организовать рабочее пространство, чтобы результаты анализа хранились в структурированном виде и не смешивались с базовыми слоями.

### **Организация рабочего пространства**

Поскольку в процессе оверлея будет создан новый слой (а затем еще и другие), возникает задача хранения вновь создаваемых данных. База геоданных *Satino* содержит базовые слои, и производные результаты следует помещать в другое хранилище.

1. Сохраните документ карты в каталог *Ex9* под именем *Ex9\_Оверлей.mxd*.
2. Откройте окно *Catalog* и обратите внимание на то, что у наверху появился домашний каталог под именем *Home - <Фамилия>\Ex9*. Раскройте его.

*Домашний каталог – это директория файловой системы, в которой хранится документ карты, который открыт в данный момент. Обычно в том же каталоге стараются хранить и сами данные (если они не берутся из внешней СУБД), чтобы избежать путаницы.*

3. Щелкните правой кнопкой мыши по домашнему каталогу и выберите *New – File Geodatabase* для того, чтобы создать новую базу геоданных.
4. Назовите ее *Ex9*.
5. Щелкните по *Ex9.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*. Эта команда указывает систе-

ме, что все результаты обработки данных следует помещать в выбранную базу геоданных.

## **Оверлей слоев методом пересечения**

Оверлей осуществляется в *ArcGIS* с помощью инструментов геообработки.

*Геообработка (geoprocessing) в терминологии ArcGIS – это анализ и преобразование пространственных данных. Доступ к инструментам геообработки осуществляется через окно ArcToolbox, где они сгруппированы по назначению. Некоторые наборы инструментов, такие как Spatial Analyst, 3D Analyst и Network Analyst, являются дополнительными модулями ArcGIS, предназначенными для решения специализированного круга задач: растровый анализ, трехмерный анализ, сетевой анализ и т.д.*

1. Откройте *ArcToolbox* с помощью красной иконки на панели инструментов.
2. Раскройте группу инструментов *Analysis Tools – Overlay*. Здесь можно найти различные режимы оверлея.

***Обсудите с преподавателем режимы оверлея Intersect, Symmetrical Difference и Union. Чем они отличаются друг от друга?***

3. Запустите инструмент *Intersect*, который ищет геометрическое пересечение нескольких слоев. Изучите пояснительную иллюстрацию в правой части окна.
4. Перенесите из таблицы содержания в список *Input features* слой *Типы почв*, затем слой *Типы рельефа*.

***Обратите внимание на то, что система автоматически определила базу геоданных и название выходного класса объектов в следующем виде:***

***D:\GIS\307\_CAR\Петров\Ex9\Ex9.gdb\SoilTypes\_Intersect***  
***Это возможно благодаря тому, что ранее была указана база геоданных по умолчанию.***

5. Замените *SoilTypes\_Intersect* на *SoilsRelief\_Intersect*, чтобы из названия было ясно, что с чем пересекается.

6. Параметр *Join Attributes* оставьте *ALL*. В этом режиме результат оверлея унаследует все поля из обоих слоев.
7. Запустите вычисления, нажав кнопку *OK*.
8. Дождитесь, пока в таблицу содержания добавится слой *SoilsRelief\_Intersect* и переименуйте его в *Комбинации почвы-рельеф*. Для этого выделите слой в таблице содержания и нажмите F2 на клавиатуре, либо найдите пункт *Rename* в контекстном меню.
9. Поместите полученный слой между слоями типов почв и рельефа, и настройте его отображение в виде полигона без заливки с черной обводкой толщиной 4 пиксела. Там, где границы совпадают с контурами типов рельефа, они будут черного цвета, а там где они совпадают с контурами типов почв, будет красная линия с черной обводкой.
10. Раскройте атрибутивную таблицу слоя *Комбинации почвы-рельеф*.

***Какие поля содержатся в таблице полученного слоя? Сравните его границы с границами двух исходных слоев. Обсудите результат с преподавателем.***

### **Слияние результатов оверлея с целью получения показателя пространственной связи**

Поскольку каждый полигон в результате оверлея содержит значение типа/подтипа почвы и типа рельефа, появляется возможность установить приуроченность типов и подтипов почв к определенным типам рельефа.

Чтобы подсчитать долю каждого типа рельефа в площади каждого подтипа почв, необходимо просуммировать площади каждой их уникальной комбинации. Например, дерново-карбонатные выщелоченные почвы (Д-в-к) на крутых эрозионных склонах встречаются в пределах Сатинского полигона в виде 6 разрозненных участков, имеющих некоторую суммарную площадь. Эта площадь, деленная на суммарную площадь почв подтипа Д-в-к даст вероятностный критерий приуроченности почв Д-в-к к крутым эрозионным склонам. То же самое касается остальных комбинаций подтипов почв и типов рельефа.

С точки зрения ГИС-анализа, операцию следует разбить на 5 шагов:

- подсчет суммарной площади каждой комбинации подтипа почв и типа рельефа;
- подсчет суммарной площади каждого подтипа почв;
- добавление поля *Percent*, в которое будет записана процентная доля;
- соединение таблиц комбинаций и подтипов почв по названию подтипа почв;
- деление площади комбинации на площадь подтипа почв и запись результата в поле *Percent*.

*Объединение разрозненных объектов, обладающих одинаковым набором атрибутов, осуществляется с помощью операции слияния (Dissolve). Если объекты примыкают друг к другу, граница между ними будет стерта, а если объекты разнесены в пространстве, на выходе получится сложный составной объект (Multipart feature), состоящий из нескольких полигонов. Слияние – один из методов картографической генерализации.*

### **Подсчет суммарной площади каждой комбинации подтипа почв и типа рельефа**

1. Откройте в *ArcToolbox* инструмент геообработки *Data Management Tools – Generalization – Dissolve*. Изучите пояснительный рисунок в правой части окна интерфейса.
2. Выберите в качестве *Input Features* слой *Комбинации почвы-рельеф*.
3. В списке *Dissolve Fields* следует отметить поля *SoilType*, *SoilSubtype* и *RelType*. Поле *SoilType* необходимо отметить для того, чтобы в таблице результирующего слоя сохранилась информация о типах почв. Это не повлияет на сам результат, поскольку количество комбинаций типа и подтипа почв равно количеству самих подтипов.
4. Введите название выходного класса *SoilsRelief\_Intersect\_Dissolve*.

5. Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите *OK*.
6. После того как результат появится в таблице содержания, назовите полученный слой *Слияние комбинаций почвы-рельеф*.
7. Отключите этот слой в таблице содержания.

### **Подсчет суммарной площади каждого подтипа почв**

1. Запустите инструмент *Dissolve* еще раз.
2. Выберите в качестве *Input Features* слой *Типы почв*.
3. В списке *Dissolve fields* выберите поля *SoilType* и *SoilSubtype*.
4. Введите название выходного класса *SoilTypes\_Dissolve*.
5. Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите *OK*.
6. Назовите полученный слой *Слияние подтипов почв*. В данном слое в результате операции слияния каждый подтип почв будет представлен единственным объектом, а в его поле *Shape\_Area* будет записана суммарная площадь данного подтипа.
7. Отключите этот слой в таблице содержания.

### **Добавление поля Percent**

1. Откройте таблицу слоя *Слияние комбинаций почвы-рельеф*
2. Выберите в окне таблицы пункт меню *Table Options – Add Field...*
3. В диалоге введите название поля *Percent*.
4. Выберите тип поля *Float* (с плавающей точкой). Оставьте остальные параметры по умолчанию и нажмите *OK*.

### **Соединение таблиц по названию подтипа почв**

Для расчета пространственной взаимосвязи исследуемых явлений необходимо поделить площадь каждой комбинации «подтип почвы-рельеф» на площадь соответствующего подтипа почв. Эти площади находятся сейчас в разных таблицах – *Слияние подтипов почв* и *Слияние комбинаций почвы-рельеф*. Эти таблицы можно соединить по полю *Подтип*.

*Соединение таблиц (join) – операция, в результате которой к одной таблице добавляются столбцы из другой таблицы. Чтобы установить соответствие между строками исходной и присоединяемой табли-*

цы, необходимо иметь в каждой таблице поле с общими для них значениями. Например, это может быть числовой код объекта или, как в нашем случае, подтип почв.

1. Перейдите в контекстное меню слоя *Слияние комбинаций почвы-рельеф* и выполните команду *Joins and Relates – Join*. Внимательно изучите содержимое появившегося диалога.
2. Выберите *Подтип* в качестве поля 1, по которому будет делаться соединение.
3. Выберите *Слияние подтипов почв* в качестве присоединяемой таблицы 2.
4. Выберите *Подтип* в качестве поля, по которому будет присоединяться таблица *Слияние подтипов почв*.
5. Нажмите *ОК*.

***Что изменилось в атрибутивной таблице слоя Слияние комбинаций почвы-рельеф?***

#### **Подсчет доли площадей и запись результата в поле *Percent***

1. Откройте таблицу слоя *Слияние комбинаций почвы-рельеф*
2. Щелкните правой кнопкой мыши на заголовке поля *Percent*, вызовите калькулятор поля (*Field Calculator*) и введите указанное ниже выражение для подсчета процента площади. Достаточно набрать 100\*, а затем дважды щелкнуть по названию каждого поля в списке, чтобы не вписывать их вручную (возможны опечатки).

$$100 * [\text{SoilsRelief\_Intersect\_Dissolve.SHAPE\_Area}] / [\text{SoilTypes\_Dissolve.SHAPE\_Area}]$$

***Калькулятор поля (field calculator) используется для вычисления значений атрибутов. Вы можете, например, умножить значение одного поля на 100 и записать в другое, соединить несколько текстовых полей в одно предложение или просто скопировать значение одного поля в другое.***

3. Нажмите *ОК*. Посмотрите получившиеся значения в поле *Percent*.
4. Удалите соединение таблиц через контекстное меню слоя *Слияние комбинаций почвы-рельеф* командой *Joins and Relates – Remove Joins – Remove All joins*.

После того, как все вычисления завершены, осталось отобразить результаты в удобном табличном виде.

5. В таблице слоя *Слияние комбинаций почвы-рельеф* щелкните на любом поле правой кнопкой мыши и выберите команду *Advanced Sorting*. В открывшемся диалоге можно установить сортировку по четырем полям.
6. Выберите в качестве первого поля *Подтип* и порядок сортировки *Ascending* (в сторону увеличения).
7. Выберите в качестве второго поля *Percent* и порядок сортировки *Descending* (в сторону уменьшения).
8. Растяните таблицу таким образом, чтобы хорошо было видно поле типа почв, поле подтипа почв, поле типа рельефа и поле *Percent*.
9. Нажмите *OK*.
10. Отключите оба слоя слияния в таблице содержания.
11. Сохраните документ карты.

Получившаяся таблица отображает для каждого подтипа почвы типы рельефа в порядке уменьшения их доли в площади. Первая строка для каждого подтипа почвы устанавливает наиболее вероятный тип рельефа.

***Обсудите с преподавателем результаты анализа. Какие почвы показывают наибольшую связь с определенным типом рельефа?***

12. Отсортируйте таблицу только по полю *Percent* (нажав дважды и еще раз дважды на нем) и выделите строки, в которых значение процента в поле *Percent* более 75.
13. Скомпонуйте окно приложения так, чтобы было видно целиком карту, а также выделенные в таблице строки и столбцы *Тип*, *Подтип*, *Тип рельефа* и поле *Percent*.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Упражнение 10. Применение сетевой модели данных для логистического анализа

### Задачи

Задание посвящено знакомству с сетевым анализом. Задачи, предлагаемые в задании, связаны с определением оптимальных маршрутов, построением зон обслуживания, определением ближайших сервисных точек, размещением сервисных точек. Данные задачи активно используются в логистике – оптимизации перевозок, а также в геомаркетинге и оптимизации местоположения пунктов обслуживания (магазинов, складов, пожарных депо и т. д.). В основе решения этих задач лежит сетевая модель данных. В сетевой модели дорожная сеть представляется в виде графа.

### Исходные данные

Слой картографической основы *Open Street Map*, граф дорожной сети на основе данных *OpenStreetMap* на территорию Москвы.

### Результат

Построение маршрута до магазина (*Route*).

Зоны обслуживания магазина в интервале 1–5 минут (*Service Area*).

Маршруты до ближайших магазинов (*Closest Facility*).

Размещение магазинов (*Location-Allocation*).

Зонирование территории по близости к магазинам.

Проект карты зонирования с компоновкой.

### Оформление базовых слоев

1. Подключитесь к базе геоданных *Ex10.gdb* в вашей папке *Ex10*.
2. Добавьте на карту слой *Buildings* (здания) и *Streets* (улицы).
3. Присвойте зданиям цвет серый (20%), уберите обводку слоя.
4. Включите механизм отображения подписей *Maplex*.
5. Включите подписи зданий со следующими параметрами:

Поле подписи	A_HSNMBR
Цвет подписи	Серый 80%
Размер подписи	6 пунктов

6. Присвойте дорогам темно-серый цвет и включите их подписи со следующими параметрами:

Поле подписи	Name (tag value)
Цвет подписи	Черный
Размер подписи	8 пунктов

7. Добавьте на карту граф дорожной сети *OSM/OSM\_nd* из базы геоданных *Ex10*. В появившемся диалоге укажите *No* (Нет), чтобы не добавлять на карту поворотные точки и прочие вспомогательные элементы графа.
8. Сохраните документ карты в директорию *Ex10* под названием *Ex10\_Network*.

### Построение маршрута

1. Включите модуль *Network Analyst*, через команду главного меню *Customize – Extensions*.
2. Включите панель инструментов *Network Analyst*.

Если все выполнено правильно, в ниспадающем списке панели будет отображаться граф дорожной сети *OSM\_nd*.

3. Создайте слой вычисленных маршрутов, выбрав в меню панели *Network Analyst – New Route*.
4. Откройте окно *Network Analyst Window*.

Предположим, что по адресу ул. Профсоюзная, д. 9 находится магазин. Адрес проживания клиента – ул. Шверника, д. 19. Необходимо построить прямой и обратный автомобильный маршрут.

Выделите в списке набор *Stops*, и, используя инструмент *Create Network Location*, поставьте на графе дорожной сети две точки рядом со зданиями ул. Профсоюзная, д. 9 и ул. Шверника, д. 19.

5. Нажмите *Solve*, чтобы построить маршрут.
6. Поменяйте точки местами в окне *Network Analyst*, чтобы построить обратный маршрут. Для этого перетащите нижнюю точку вверх списка. Запустите еще раз *Solve*.

Предположим, что на дороге ведутся ремонтные работы по адресу проспект 60-летия Октября, д. 29, к. 1, и движение перекрыто.

7. Выделите в окне *Network Analyst* пункт *Point Barriers – Restriction* и поставьте точку на граф рядом со зданием по адресу проспект 60-летия Октября, д. 29, к. 1.

8. Перестройте маршрут.
9. Сохраните документ карты.

### Определение зоны обслуживания

Необходимо определить, какие здания попадают в зону доступности магазина в пределах 1-5 минут движения на автомобиле.

1. Отключите в таблице содержания слой *Route*.
2. Создайте слой определения зон обслуживания с помощью команды *Network Analyst – New Service Area*.
3. Выделите в окне *Network Analyst* слой *Facilities* (пункты обслуживания) и, используя тот же инструмент *Create Network Location*, поставьте точку по адресу ул. Профсоюзная, д. 2 (пересечение с ул. Дмитрия Ульянова).
4. Установите время езды до магазина равным 2 минутам. Для этого дважды щелкните на слое *Service Area*, перейдите на вкладку *Analysis Settings* и поменяйте следующие настройки:

Default Breaks	2
Direction	Towards Facility (от потребителя к точке обслуживания)

5. Нажмите *Solve* на панели *Network Analyst*, чтобы построить зону обслуживания.
6. Постройте иерархию зон обслуживания от 1 до 5 минут. Поменяйте значение параметра *Breaks* в настройках слоя *Service Area* на 1 2 3 4 5 (через пробелы).
7. Перезапустите расчет зон обслуживания.
8. Раскройте список *Polygons* в окне *Network Analyst*, чтобы увидеть легенду слоя.

Построив зоны обслуживания, можно выделить здания и провести экономико-географический анализ. Для этого следует воспользоваться Пространственной выборкой (*Selection – Select By Location*). Чтобы выбрать здания, попадающие только в определенный диапазон, выберите нужный диапазон в списке и после этого осуществляйте пространственную выборку.

9. Сохраните документ карты.
10. Определение зоны обслуживания.

Предположим, что есть 2 магазина и 5 семей, которые живут в разных районах. Необходимо определить, какой магазин является ближайшим для каждой семьи, и построить маршрут.

1. Отключите слой *Service Area* в таблице содержания.
2. Создайте слой определения ближайшего пункта обслуживания командой *Network Analyst – New Closest Facility Layer*.
3. Используя навыки предыдущего анализа, поставьте два пункта обслуживания (*Facilities*) по адресам ул. Вавилова, д. 48 и ул. Новочеремушкинская, д. 23.
4. Поставьте 5 пунктов потребления (*Incidents*) по адресам:
  - ул. Шверника, д. 19,
  - Ленинский проспект, д. 44,
  - Ломоносовский проспект, д. 67,
  - Проспект 60-летия Октября, д. 19,
  - ул. Кржижановского, д. 16, к. 1.
5. Нажмите *Solve*, чтобы запустить расчет маршрутов.

Инструмент выберет ближайшие магазины и построит маршруты.

### **Операция «Размещение – распределение»**

Задача *размещения – распределения (location-allocation)* формулируется следующим образом: есть  $N$  потенциальных точек для размещения пунктов обслуживания (магазины, кафе, пожарные станции, транспортные узлы, сервисные центры и т. д.), а также  $K$  точек потребления (обычно это здания, из которых выезжают люди за услугами, или к которым эти услуги поставляются). Необходимо из  $N$  точек обслуживания выбрать  $n \leq N$  точек таким образом, чтобы минимизировать некую стоимостную функцию (например, суммарное время движения от каждого пункта потребления до ближайшего пункта обслуживания), после чего распределить точки по ближайшим пунктам обслуживания. Данный тип анализа позволяет также моделировать противостояние конкурирующих сетей обслуживания и подбирать оптимальные места размещения пунктов для максимального охвата рынка.

1. Отключите слой *Closest Facility* в таблице содержания.
2. Создайте слой размещения–распределения посредством команды *Network Analyst – Location-Allocation*.

3. Расставьте потенциальные пункты обслуживания по следующим адресам:
  - ул. Большая Черемушкинская, д. 11, к. 3,
  - ул. Дмитрия Ульянова, д. 42,
  - ул. Профсоюзная, д. 19,
  - Ленинский проспект, д. 67,
  - Ленинский проспект, д. 44,
  - Проспект 60-летия Октября, д. 19, к. 1,
  - ул. Дмитрия Ульянова, д. 26, к. 1.
4. Добавьте на карту слой *Points* из базы геоданных *Ex10*. Это слой центроидов зданий, необходимый для загрузки точек потребления.
5. Сделайте точки черного цвета диаметром 3 пункта.
6. Загрузите точки в пункты потребления. Для этого щелкните правой кнопкой мыши на строке *Demand Points* окна *Network Analyst* и выберите команду *Load Locations*.
7. В появившемся диалоге выберите в списке *Load From* слой *Points* и нажмите *OK*.

Потребуется некоторое время, чтобы точки привязались к графу дорожной сети. За процессом можно следить в строке состояния приложения (внизу).

8. Дважды щелкните на слое *Location-Allocation*, чтобы изменить настройки анализа. Перейдите на вкладку *Advanced Settings*.

***Попробуйте выбрать различные варианты решения задачи в списке *Problem Type* и прочитайте их описание. Подумайте, где можно применить такой анализ.***

9. Выберите режим *Minimize Impedance* (минимизировать суммарное время движения от потребителей к ближайшим пунктам обслуживания).
10. Установите количество отбираемых кандидатов (*Facilities to Choose*) равное 4.
11. Установите направление движения *Demand to Facility* (потребитель к услугам) на вкладке *Analysis Settings*.
12. Нажмите *OK* и запустите решение задачи. Будут выбраны четыре наиболее оптимальных пункта обслуживания, а зда-

ния будут распределены между ними в виде веерной диаграммы.

13. Сохраните документ карты.

### Районирование города по зонам обслуживания

На основе полученного распределения можно произвести районирование территории. Для этого можно построить диаграмму Вороного точек потребления и объединить полигоны, отнесенные к общему пункту обслуживания.

1. Исключите нераспределенные точки. Для этого дважды щелкните на слое *Demand Points* в таблице содержания, перейдите на вкладку *Definition Query*, нажмите *Query Builder* и введите следующий запрос:

«FacilityID» IS NOT NULL

2. Создайте в вашем каталоге *Ex10* базу геоданных *Regions.gdb* и назначьте ее базой данных по умолчанию.

3. Откройте *ArcToolbox*.

4. Запустите инструмент геообработки *Analysis Tools – Proximity – Create Thiessen Polygons* и заполните его параметры следующим образом:

Input Features	Location-Allocation\Demand Points
Output Features	<Ваша папка>\Ex10\Regions.gdb\DemandPoints_Voronoy
Output Fields	ALL

Запустите инструмент.

*Диаграмма Вороного обладает следующим свойством: какую бы точку мы не взяли внутри каждого полигона, она будет ближе к центру этого полигона, чем к любому другому центру.*

Объединив полигоны Вороного, точки которых отнесены к одному и тому же центру обслуживания, вы получите районирование территории по зонам обслуживания. Для этого запустите инструмент *Data Management Tools – Generalization – Dissolve* и заполните его параметры следующим образом:

Input Features	DemandPoints_Voronoy
Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex10\Regions.gdb\Regions
Dissolve Field (s)	FacilityID

Остальные параметры оставьте по умолчанию.

5. Нажмите *OK*. После обработки слой районирования будет добавлен на карту.
6. Измените оформление слоя районирования следующим образом:
  - способ изображения *Categories – Unique Values*,
  - поле отображения *Facility ID*,
  - цвета отображения спокойные, пастельные,
  - обводка полигонов отсутствует.
7. Нажмите *OK*, чтобы завершить оформление.
8. Переместите слой *Regions* под слои зданий и дорог.
9. В группе *Location-Allocation* оставьте включенным только слой *Facilities*.
10. В слое *Facilities* увеличьте размер символа для выбранных пунктов обслуживания (*Chosen*) до 28.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 11. Моделирование речной системы с использованием геометрической сети**

### *Задачи*

Речные системы, транспортные и инженерные коммуникации – это примеры пространственных сетей. Сети играют огромную роль в географическом пространстве, их можно найти практически на любой карте, они учитываются в виде факторов во многих географических задачах. Основная функция сетей – перенос вещества и данных. Отличительной особенностью сетей является направленность линейных отрезков и их топологическая связность в местах сочленения, таких как слияния рек, перекрестки дорог, разветвления трубопроводов.

Это упражнение направлено на приобретение навыков создания и редактирования линейных и точечных объектов, построения геометрической сети речной системы на их основе и выполнения простого сетевого анализа – построение маршрутов, трассировка водотоков вверх и вниз по течению. Полученные навыки пригодятся при изучении сетей других типов: инженерных и транспортных.

### ***Исходные данные***

База данных ГИС «Сатино».

### ***Результат***

Набор данных геометрической сети в базе пространственных данных.

Результаты сетевого анализа.

### **Создание набора данных речной сети и линейного класса для представления водотоков**

1. Скопируйте папку *Ex11* из директории с данными в свой рабочий каталог посредством Проводника.
2. Откройте *ArcMap*.
3. Сохраните карту командой меню *File – Save* в директории *Ex11* под именем *Ex11\_Реки.mxd*. Это необходимо для того, чтобы появилась домашняя директория в окне каталога.
4. Откройте окно *Catalog*. Найдите вверху домашнюю директорию *Home* – это каталог *Ex11*, где сохранен документ карты.
5. Добавьте на карту слои *WaterPolygon* и *WaterLine* из базы *Satino.gdb*.

***Получено два представления речной сети: линейное и площадное. Подумайте, в каких задачах необходимо одно представление, а в каких – другое?***

Чтобы обеспечить связность гидрографической сети, следует преобразовать площадное представление крупных водотоков в линейное. Для этого необходимо вручную оцифровать осевую линию реки, притянуть устья притоков к этой осевой линии, а затем разрезать осевую линию в узлах пересечения (в дальнейшем это позволит при трассировке «сворачивать» с одного водотока на другой).

6. Щелкните правой кнопкой мыши по домашнему каталогу (*Home*) и выберите *New–File Geodatabase*, чтобы создать новую базу геоданных.
7. Назовите ее *Ex11.gdb*.
8. Щелкните по *Ex11.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*. Эта команда указывает системе, что все результаты обработки данных следует помещать в выбранную базу геоданных.

9. Добавьте в базу геоданных *Ex11.gdb* новый набор данных *Hydro*. Для этого щелкните правой кнопкой мыши на названии базы геоданных и в контекстном меню выберите *New-Feature Dataset*.
10. В появившемся окне введите название набора данных *Hydro*.
11. В следующем окне появится запрос задать проекцию. Щелкните на кнопке *Add Coordinate System* и в ниспадающем меню выберите команду *Import*. Найдите слой *Border* в базе геоданных *Satino.gdb* и дважды кликните на нем. Параметры проекции автоматически подставятся из созданного ранее слоя. Убедитесь, что проекция называется *WGS\_1984\_UTM\_Zone\_37N*.
12. Нажмите *Далее* и во всех оставшихся диалогах оставьте параметры по умолчанию.
13. Создайте новый класс пространственных объектов *Streams* внутри набора данных *Hydro*. Для этого щелкните правой кнопкой мыши по набору данных *Hydro* и в контекстном меню выберите пункт *New-Feature Class*.
14. В первом диалоге введите название класса *Streams*, его псевдоним (*alias*) *Водотоки* и из ниспадающего списка выберите тип класса *Line Features*. Нажмите *Далее* два раза, чтобы пропустить второй диалог.

В появившемся (третьем) диалоге потребуется определить состав атрибутивных полей для слоя. Здесь можно сделать это вручную, однако мы воспользуемся интерфейсом импорта.

15. Нажмите кнопку *Import* и найдите класс *WaterLine* в базе геоданных *Satino*, дважды щелкните на нем. Названия и типы полей автоматически подставятся в список.
16. Нажмите *Finish*. Проверьте, чтобы в вашей таблице содержания было 3 слоя: Водотоки, Гидрография (линии) и Гидрография (полигоны).

### **Копирование и цифрование линий водотоков**

Чтобы собрать речную сеть, можно скопировать уже существующие линейные водотоки в созданный вами слой, а затем *оцифровать* недостающие водотоки (Протва и Исьма).

1. Щелкните правой кнопкой мыши на слое *Водотоки* и выберите пункт меню *Edit Features—Start Editing*, чтобы начать редактирование.
2. Выделите все водотоки из слоя *Гидрография (линии)*. Для этого щелкните правой кнопкой мыши по слою *Гидрография (линии)* и в контекстном меню выберите пункт *Selection—Select All*. Скопируйте выделенные водотоки в буфер обмена командой главного меню *Edit—Copy*.
3. Вставьте скопированные объекты в слой *Водотоки*. Для этого воспользуйтесь стандартной командой главного меню *Edit—Paste* и в появившемся диалоге выберите в качестве целевого слой *Водотоки*.
4. Снимите выделение с водотоков, нажав кнопку *Clear Selected Features* на панели инструментов *Tools*.
5. Удалите слой *Гидрография (линии)* из таблицы содержания. В этом задании он больше не понадобится.
6. Переключитесь в окно *Create Features* (крайняя правая кнопка на панели *Tools*) и выберите *Водотоки* в списке объектов.
7. Приблизьтесь к верховьям Протвы в западной части карты. Для навигации используйте колесико мыши (масштабирование) и кнопку *C* на клавиатуре (перемещение). Рекомендуемый диапазон масштабов для цифрования — 1:1 500 — 1:2 000. Можно отслеживать его в верхней части окна.
8. Щелкните посередине полигона в месте начала реки и начните цифровать линию примерно по осевой линии полигона с некоторым интервалом. Щелкните мышью в месте, где необходимо поставить точку, затем переместите курсор к месту следующей точки, щелкните еще раз, и так далее. Не увлекайтесь и не расставляйте точки слишком часто. Оцифруйте осевую линию Протвы целиком с запада на восток — это займет некоторое время.
9. Когда линия будет полностью оцифрована, щелкните дважды мышью в последней точке, или нажмите F2.

Советы по цифрованию:

*Если вам мешает плавающее окно дополнительных функций, нажмите клавишу **TAB**.*

*Если курсор подошел к границе окна, зажмите клавишу **C** на клавиатуре и переместите карту. Отпустите клавишу и продолжайте цифрование.*

*Если поставили точку не в том месте, где хотели, нажмите **Ctrl + Z**, чтобы отменить действие.*

*Если случайно завершили цифрование раньше, чем требуется, начните с последней точки. Не будет ошибкой, если у вас получится 2–3, а не одна линия – их можно объединить.*

*Чтобы сдвинуть вершину, выберите стрелку на панели редактирования и дважды щелкните на линии – появятся вершины. После того, как сдвинете нужные точки, щелкните курсором на пустом месте карты.*

*Если курсор в узком месте притягивается к границе реки, попробуйте увеличить масштаб изображения.*

10. Повторите операцию цифрования для реки Исьмы от ее верховья до устья. Последнюю точку поставьте на осевой линии Протвы.
11. Сохраните изменения, выбрав на панели *Editor* команду *Editor-Save Edits*.
12. Снимите выделение с водотоков, нажав кнопку *Clear Selected Features* на панели инструментов *Tools*.
13. Нажмите глобус (*Full extent*), чтобы все объекты поместились на экране.

### **Притягивание (снэппинг) притоков и разрезание осевой линии основных рек**

Ранее оцифрованные малые притоки Протвы и Исьма были пристыкованы к полигональной границе реки. Возникает вопрос: сохранился ли этот характер соседства после того, как вы заменили полигональное представление рек на линейное?

1. Найдите устье речки Межиловки при впадении в Протву (западная часть полигона) и увеличьте масштаб изображения так, чтобы было хорошо видно место впадения.

### ***Какая топологическая ошибка может быть замечена в месте впадения ручья в Протву?***

2. Выберите инструмент «стрелка» на панели *Editor* и дважды щелкните на линии ручья. Должны появиться вершины. Потяните за последнюю вершину и пристыкуйте ее к линии реки. Щелкните на пустом месте, чтобы завершить редактирование.
3. Повторите операцию для всех остальных ручьев. Перемещайтесь по карте, используя клавишу *C*. Не забудьте также про Исьму. Сохраните изменения, выбрав команду *Editor – Save Edits*.

Помимо сохранения связности для геометрической сети очень важно, чтобы линии были разрезаны на сегменты между пересечениями. Это позволяет отличать реальные узлы от перекрытий (сравните обычный перекресток и эстакаду!).

4. Выделите на карте Протву и приблизьтесь к месту впадения в нее речки Межиловки.
5. Найдите на панели *Editor* инструмент разрезания линии и щелкните мышью в месте впадения речки в Протву. Линия Протвы разобьется этой точкой на две части.
6. Повторите процедуру с выделением Протвы и разрезанием для всех остальных притоков.
7. Разрежьте аналогичным образом остальные водотоки.
8. Сохраните изменения, выбрав команду *Editor–Save Edits*. Завершите редактирование, выбрав команду *Editor–Stop Editing*.
9. Сохраните документ карты.

### **Установка точки стока (закрывающего створа)**

Подготовленных данных уже достаточно для построения геометрической сети. Однако в общем случае сеть является двунаправленной (например, транспортная), а наша сеть имеет вполне определенное направление – вниз по течению. Чтобы задать это направление, необходимо создать новый точечный слой и поставить в нем одну точку, расположенную ниже всего по течению.

1. Перейдите в окно Каталога, щелкните правой кнопкой мыши по набору данных *Hydro* и выберите пункт *New – Feature Class*.

2. Задайте классу имя *Sink* и точечный тип *Point Features*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
3. Смените символ слоя *Sink* на кружок голубого цвета диаметром 10 пикселей.
4. Включите режим редактирования командой *Edit Features – Start Editing*, в окне *Create Features* выберите *Sink* и поставьте точку на восточной оконечности реки Протвы (правый край карты).
5. Сохраните изменения и завершите режим редактирования.
6. Добавьте на карту слой горизонталей *ContoursBasic* из базы данных *Satino.gdb* и смените цвет линий на бледно-серый. Переместите его вниз в качестве основы.
7. Отключите слой Гидрография (полигоны) и нажмите кнопку *Full extent*, чтобы вся территория полигона поместилась на экране.

Данные полностью готовы к построению геометрической сети.

### **Построение и настройка геометрической сети**

1. Перейдите в окно *Catalog*, щелкните правой кнопкой мыши по набору данных *Hydro* и выберите пункт *New – Geometric Network*.
2. Оставьте *Hydro\_Net* в качестве имени по умолчанию и установите расстояние принудительного снэппинга линий равным 1 м. Эта опция будет полезна, если где-то устье притока не пристыковано к реке. Оно дотянется автоматически. Нажмите *Далее*.
3. В следующем окне нажмите *Select All*, чтобы выбрать слои, участвующие в построении сети. Нажмите *Далее*.
4. Появится диалог настройки сети. *Junction* – это узел, *Edge* – это ребро. Для слоя *Sink* установите значение параметра *Sources & Sinks* равным *Yes*. Система будет знать, что этот слой содержит точки, являющиеся истоками (*source*), либо замыкающими створами (*sink*). Нажмите *Далее*.
5. Во всех остальных диалогах оставьте параметры по умолчанию. Нажмите *Finish* в последнем диалоге, чтобы завершить создание сети.

6. После того как будет построена геометрическая сеть, в таблицу содержания добавятся три новых слоя: *Водотоки* (ребра сети), *Hydro\_Net\_Junctions* (узлы в сети) и *Sink* (замыкающий створ). Удалите новые слои *Водотоки* и *Sink*, поскольку они дублируют старые.
7. Включите режим редактирования и откройте таблицу атрибутов слоя *Sink*.
8. Установите для единственной точки в этом слое поле *AncillaryRole* равным 2 (*Sink*). Если список не отображается, просто введите в ячейку 2. Обратите внимание на то, что есть и противоположный вариант – *Source* (исток).
9. Сохраните изменения, выбрав пункт меню *Editor–Save Edits*.
10. Щелкните правой кнопкой мыши на пустом поле вверху окна и откройте панель инструментов *Utility Network Analyst*, предназначенную для работы с геометрической сетью.
11. Выберите в меню пункт *Flow–Display Arrows*, чтобы система автоматически показала направление течения. Вдоль отрезков будут показаны кружки, означающие, что направление еще не задано.
12. Нажмите кнопку *Set Flow Direction*. Кружки должны смениться стрелочками, указывающими направление течения. Просмотрите разные части карты и убедитесь в том, что направление течения задано одинаково верно для всех водотоков.
13. Завершите сеанс редактирования, выбрав на панели *Editor* пункт меню *Editing–Stop Editing*. В появившемся диалоге нажмите *Да*.

Подготовка и настройка геометрической сети завершены. Теперь она доступна для анализа и редактирования.

### **Анализ и редактирование геометрической сети**

Самое полезное в сетевых моделях – это возможность их анализа. Например, если зафиксирована точка прорыва на трубопроводе, можно определить все расположенные далее сегменты и ответвления сети, которые пострадают в результате аварии. Для замыкающего створа на реке можно определить все притоки, расположенные выше по течению или быстро трассировать путь

воды вниз по течению вплоть до устья основной реки бассейна. При анализе транспортных сетей часто решается задача прокладки кратчайшего маршрута, расчета зон доступности и управления парком транспортных средств.

*При анализе геометрических сетей в ArcGIS используются флаги и барьеры. Флаг – это точка, относительно которой осуществляется трассировка сети. Барьер – это точка, запрещающая проход по ребру графа или его вершине.*

1. Откройте меню флагов и барьеров на панели инструментов *Utility Network Analyst* и выберите флаг для вершины (первая иконка).
2. Поставьте флажок в месте впадения речки Межиловки в Протву.
3. В списке *Trace Task* выберите задачу *Trace Upstream* (трассировать вверх по течению) и нажмите кнопку *Solve*.

Инструмент анализа выделит водотоки, расположенные выше по течению относительно заданной точки. Весь их сток в конечном счете попадает в данную точку.

4. Смените задачу на *Trace Downstream* и опять нажмите кнопку *Solve*.

Инструмент анализа построит маршрут вниз по течению.

5. Поставьте еще один флажок в верховьях ручья Язвицы и запустите анализ в режиме *Find Path*. Будет построен маршрут между двумя точками.
6. Поставьте точечный барьер кнопкой (вторая справа иконка на панели) в месте впадения Исьмы в Протву и попробуйте еще раз рассчитать маршрут.

***Что произошло с расчетом маршрута после того, как был поставлен барьер?***

7. Очистите флаги и барьеры, выбрав *Analysis – Clear Flags* и *Analysis – Clear Barriers*.
8. Попробуйте поэкспериментировать с разными режимами расчетов в меню *Trace Task* и расстановкой флагов и барьеров.

*Геометрическая сеть отличается от обычного линейного слоя также тем, что это топологический формат хранения данных – она хранит связность ребер и*

*вершин, что бывает удобно при редактировании и совершенно необходимо при анализе.*

9. Включите режим редактирования снода и приблизьтесь к месту впадения любого ручья в Протву.
10. Выделите узел сочленения и переместите его в сторону.

***Что происходит при перемещении узла сети? Остаются ли ребра на своих местах?***

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Раздел 4**

### **ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ НА ОСНОВЕ РАСТРОВЫХ И РЕГУЛЯРНО-ЯЧЕИСТЫХ МОДЕЛЕЙ ДАННЫХ**

#### **4.1. Технологии создания и использования растровых данных**

Принято считать, что многие операции пространственного анализа и моделирования в растровых системах выполняются проще, чем в векторных. Нет необходимости определять пересечения линий, поскольку границы растровых полигонов определяются смежной атрибутом пиксела. Для определения длины линии или площади полигона нужно только подсчитать число пикселей с нужным атрибутом, а затем умножить на величину разрешения. Но следует отметить, что длина линий в растровом формате существенно зависит от ее ориентации относительно ячеек растра. Если линия идет вдоль строк или столбцов, то ее длина равна сумме ячеек, умноженной на величину разрешения. Если линия пересекает ячейки строго по диагонали, то ее длину нужно умножить на корень из 2. Более сложная проблема – получение правильной длины извилистой линии. Разрешение растра может быть таково, что целый участок извилистой линии будет показан одной ячейкой, и тогда длина линии будет меньше реальной.

Процесс построения растровых слоев БД ГИС подразумевает геометрическую согласованность данных по ячейкам растра, а атрибуты вступают в соответствие автоматически. Если данные разных слоев тематической БД взаимосвязаны в пространстве (представлены в одной системе координат, пиксели имеют одинаковый размер), то выполнение операций оверлея в растровых системах осуществляется только в атрибутивном пространстве, на уровне легенд карт. Здесь на первое место выходят не просто технологии совмещения данных, а их географическое согласование.

Растровым системам, в которых мир моделируется как набор элементов, не свойственно понятие объекта как целого. Однако, используя простые приемы, можно оперировать взаимосвязями и в растровых системах.

Географические явления не ограничиваются дискретными точками, линиями и полигонами, поэтому в целом растровое представление хорошо подходит для анализа географического пространства, которое обладает изменчивостью характеристик окружающей среды. Растровая модель топологически неразрывна, что позволяет моделировать различные географические поля распределений и переноса вещества в пространстве из одной ячейки в другую; для таких моделей часто используют термин «поверхности». В силу регулярности растровая модель проста в обработке, поскольку все операции можно унифицировать, ориентируясь на матрицу ячеек.

### Создание растров

Растровые модели данных могут формироваться разными способами. Прежде всего это данные аэро- и космических съемок, автоматически создаваемые в растровом формате; данные сканирования бумажных изображений (например, листов карт); данные, создаваемые с использованием операции конвертирования векторных слоев; новые пространственные данные, создаваемые по технологиям формирования регулярной сетки и ее наложения (оверлея) на выбранные слои существующих данных.

Специфика растровой модели данных как матрицы строк и столбцов с привязкой каждой ее ячейки требует создания специальной среды геообработки. Поэтому работая в *ArcGIS* прежде чем начать выполнение процедур анализа раstra необходимо задать параметры этой среды: *текущая и временная рабочие области* – для указания местоположения выходных данных; *экстент* – для ограничения данных интересующей областью; *размер ячейки* – определенное разрешение *cell size*; *параметры маски* – для ограничения территории анализа в пределах прямоугольного экстента (если необходимо). Используя задание параметров среды анализа можно управлять способом создания выходного раstra. Так, входные и выходные данные обрабатываются по умолчанию в текущей рабочей области или в базе геоданных, выбранной по умолчанию. Задание среды геообработки позволяет перенаправить вы-

ходные данные в другую рабочую область или задать для них временную рабочую область, использующуюся по умолчанию.

В *ArcGIS* предусмотрены специальные инструменты (*Raster Creation*) для создания новых растровых моделей, в которых выходные значения в пределах экстенда и размера ячейки окна анализа формируют растры: констант; из произвольных значений с нормальным (гауссовым) распределением; произвольных значений с плавающей точкой от 0,0 до 1,0. Эти инструменты полезны при визуализации распределения явления.

Особый случай построения и использования сеток представляет формирование **аналитической регулярной сетки** как слоя прямоугольных полигонов и ее оверлея на векторные слои данных, позволяющей с заданной дискретностью (шагом регулярной сетки) по ячейкам пространственно связать тематические характеристики изучаемой территории (климатические, гидрологические, ресурсные и т. п.). Этот способ применяется, например, для выполнения пространственного анализа на основе определения соотношения (процентного, долей) типов пространственных объектов в площади ячейки сетки на изучаемом участке земной поверхности и является реализацией **регулярно-ячейковой модели данных**. Создание такой аналитической сетки (в *ArcGIS* инструмент *fishnet*) позволяет определять меры пространственных статистических распределений векторных объектов (линий или точек) и представлять их в виде растров, рассчитать статистику по количеству перекрывающихся объектов слоев по каждой ячейке регулярной сетки (инструмент *Statistics – Tabulate Intersection*), сохраняя результаты в ее атрибутивной таблице. Отображение этого слоя в окне карты похоже на растровое, а в картографической форме оно может быть представлено способом картодиаграмм.

## Таблицы растра

Довольно часто значения пикселей содержат дискретные целочисленные значения, которые используются для классификации растровых данных, например, номера классов типов растительности. Для таких растров целесообразно создавать таблицу атрибутов растра (*raster attribute table*), которая описывает каждое уникальное значение пиксела и позволяет выполнять многие операции с таблицами, которые описаны в разделе 3. В *ArcGIS* для этого

используется инструмент построения таблицы атрибутов раstra (*Build Raster Attribute Table*). Например, имеется карта почвенных контуров, представляющая слой типов почв, в котором каждый элемент (пиксел) является идентификатором (1 или 2) некоторого типа почв (А или В) и идентификатором входа в таблицу атрибутов почв. В другом слое определено положение каждого почвенного разреза указанием на соответствующий элемент раstra и идентификатором, указывающим на таблицу атрибутов разрезов (1–4). Путем операции оверлея можно вычислить взаимосвязь типа «содержится в»; при этом результаты (в данном случае тип почвы) хранятся в виде отдельного столбца в таблице атрибутов разрезов.

### **Технологии анализа, основанные на ячейках раstra**

Большую часть функций, предназначенных для пространственного анализа и моделирования на базе ячеек растров (сеток, гридов) обычно называют алгеброй карт. Они могут быть применены к одному или нескольким растровым слоям (гридам). Математические операторы, реализующие функции, включают: арифметические (сложение, вычитание, умножение и деление значений ячеек слоев), логические (AND, OR), бинарные (0, 1), статистические (минимум, максимум, среднее и т. п.), степенные, логарифмические и тригонометрические.

Функции картографической алгебры разделяют на типы, называемые локальными, фокальными, зональными и глобальными функциями, в соответствии с количеством ячеек раstra, используемых для анализа:

- одна ячейка и несколько слоев – *локальные функции*,
- несколько соседних ячеек слоя – *фокальные функции*,
- ячейки одной зоны – *зональные функции*,
- все ячейки раstra – *глобальные функции*.

На значения, получаемые с помощью функций каждого из этих типов, влияют не только атрибуты, с которыми они работают, но и пространственное (геометрическое) представление данных. Например, результат функции сложения двух слоев (работающая без учета окружения ячеек) зависит от значений соответствующих ячеек в слоях. Функции, применяемые к ячейкам в окрестности или зоне растрового слоя, зависят от пространственной конфигурации окре-

стности или зоны, а также от ячеек и их значений в этой конфигурации.

**Локальные** функции вычисляют значения выходного растрового набора данных таким образом, что значение *каждой его ячейки* является функцией от значения, связанного с определенной ячейкой в одном или нескольких растровых наборах данных. То есть при применении функции к одному растровому набору данных на выходное значение ячейки влияет только исходное значение этой ячейки, независимо от значений соседних ячеек. Это могут быть функции возведения в степень, тригонометрические функции и др. Локальные функции, работающие с несколькими растровыми наборами данных, – это функции, вычисляющие значения суммы, минимума или максимума для каждого местоположения ячейки во всех входных растровых наборах данных.

**Фокальные** функции, или функции окрестности, применяют к одному набору данных (слою). Они создают выходной растровый набор данных, в котором значение каждой ячейки является функцией входного значения в этой точке и значений соседних ячеек в заданной окрестности (например, в окрестности 3x3 или 5x5 ячеек). Конфигурация окрестности определяет, какие именно из ближайших к обрабатываемой ячейке будут использованы при вычислении выходного значения. Фокальные функции позволяют определить для этой ячейки значение среднего, стандартного (среднеквадратического) отклонения, суммы или диапазона значений в окрестности.

**Зональные** функции создают выходной растровый набор данных, в котором значение каждой ячейки зависит от исходного значения этой ячейки, а также всех ячеек, входящих в ту же зону слоя. На растровых картах зоны – это две или более ячеек с одинаковым значением. Зона может состоять из соединенных или не соединенных ячеек, или из тех и других. Зоны, ячейки которых соединены, представляют такие объекты территории, как здание, озеро, дорога или другой линейный или площадной объект. Зональные функции аналогичны фокальным функциям, но окрестности обрабатываемых ячеек не задаются, а определяются конфигурацией зон или объектов в исходном наборе данных, определяющем зоны. Такие функции вычисляют среднее значение, сумму, минимум, максимум или диапазон значений для ячеек первого набора

данных, находящихся в пределах каждой зоны, определяемой вторым исходным набором данных.

**Глобальные функции** создают выходной растровый набор данных, в котором значение каждой ячейки может быть функцией от всех ячеек в исходном растровом наборе данных. Выделяют две группы таких функций – *Евклидово расстояние* и расстояние с учетом веса (взвешенное). Функции вычисления Евклидова расстояния присваивают каждой ячейке выходного раstra значение расстояния от ячейки с теми же координатами в исходном изображении (ячейки назначения) до ближайшей ячейки источника. Взвешенное расстояние является функцией от некоторых факторов, например, стоимости передвижения, сложности перемещения по маршруту, зависящей от рельефа или проходимости местности. Функции вычисления расстояния с весом (стоимостью) обычно используют для вычисления кратчайшего пути (с наименьшей стоимостью). Во всех глобальных вычислениях для получения результата требуется знание всей поверхности.

На функции каждой из перечисленных категорий влияют не только атрибуты, с которыми они работают, но и пространственное (геометрическое) представление данных. Например, результат применения функции сложения двух слоев, работающей без учета окружения, зависит от расположения и значения соответствующей ячейки из другого слоя. Для функции, применяемой к ячейкам в окрестности или зоне, результаты зависят от пространственной конфигурации окрестности или зоны, а также от ячеек и их значений в этой конфигурации.

Для решения различных прикладных задач используют наборы функций моделирования на базе ячеек, поскольку сами локальные, фокальные, зональные и глобальные функции работают с ячейками и не связаны с поставленными задачами исследования. Например, для решения задач гидрологического анализа в приложении *Spatial Analyst* создан специальный модуль, который оперирует со всеми категориями функций.

Функции алгебры карт отдельно или в комбинации широко применяются в задачах пространственного анализа и моделирования, реализованы во многих ГИС-пакетах для решения определенных классов прикладных задач – анализа физических и абстрактных поверхностей. Например, вычисление уклона обычно использует-

ся для анализа поверхностей, но одновременно является фокальной функцией. Большинство операций анализа данных в растровых ГИС-пакетах, вызываемых из меню, основано на использовании функций алгебры карт.

### **Наложение (оверлей) растров**

В отличие от технологий геометрического наложения пространственных объектов, рассмотренных в разделе 3, при наложении растров каждая ячейка каждого слоя пространственно привязана к одному и тому же географическому местоположению. Это удобно для комбинации характеристик нескольких слоев в одном слое. Обычно большое количество значений соответствует каждой характеристике, что позволяет математически произвести объединение слоев (например, простое сложение) и получить новое значение для каждой ячейки в выходном слое.

Такой же подход часто используется для ранжирования значений атрибутов ячеек слоя, например, по пригодности или подверженности рискам, а затем присвоения ячейкам этих ранжированных значений, чтобы получить общий ранг для каждой ячейки. Для разных слоев может быть также установлена относительная значимость для создания взвешенного ранжирования (ранги в каждом слое умножаются на значение веса слоя перед тем, как произвести суммирование с другими слоями). Например, пусть три растровых слоя – крутизна склонов, почвы и растительность – ранжированы для построения слоя пригодности по шкале от 1 до 7. После сложения ранжированных слоев каждая ячейка может получить значения в пределах от 3 до 21. Вместо сложения слоев пригодности может быть создана любая другая уникальная комбинация значений из нескольких входных слоев.

### **Инструменты наложения растров**

Среди инструментов наложения растров выделяют несколько типов, которые позволяют создавать новые растровые данные, пригодные для осуществления пространственного анализа на основе групп ячеек, существенно оптимизируя процедуры, осуществляемые в наборе инструментов алгебры карт:

- зональная статистика (*Zonal Statistics*) позволяет определить статистические показатели для ячеек одного слоя, попадаю-

щих при наложении в зоны (или категории), представленные в другом слое (например, при необходимости рассчитать средние высоты каждой категории растительности);

- комбинирование (*Combine*) присваивает значение каждой ячейке выходного слоя на основе уникальной комбинации значений из нескольких входных слоев;
- взвешенный оверлей (*Weighted Overlay*) позволяет присваивать веса каждому слою перед добавлением в процедуру оверлея;
- взвешенное суммирование (*Weighted Sum*) создает новый растр из нескольких растров с умножением каждого на присвоенный им вес и общим суммированием.

Процедура *взвешенного оверлея* широко используется для решения большого класса задач определения оптимального местоположения. Она обеспечивает пользователя достаточно простым средством территориальных исследований, сопряженного анализа географических факторов и изучения их пространственных отношений. Пользователь интерактивно управляет процессом создания дополнительных слоев, задавая условия пригодности. При одном и том же исходном наборе слоев цели могут быть разными (размещение сельскохозяйственных культур, бурение скважин и др.). Поэтому необходимые условия адекватности создаваемой модели размещения – четкое определение понятия пригодности, обычно устанавливаемое экспертным путем, единиц ее измерения, весов и, соответственно, шкал.

Задача состоит в определении модели процесса и необходимых исходных данных. При поиске оптимального места для размещения нового объекта (например, школы, парка) возможны два способа решения задачи: построение запроса к созданным наборам данных с использованием логических операторов для определения истинности или ложности результата операции, либо создание карты пригодности. Первый способ позволяет не только получить ответ на вопрос «Подходит/не подходит», но и создать слои, в котором исследуемые объекты (соответствующие им ячейки растра) будут помечены «1» (да) или «0» (нет). Это так называемые *Булевы слои пригодности* – слоев будет столько, сколько задано критериев пригодности. Складывая такие слои по правилам Булевой логики, получают новый слой, в котором пригодными для размещения какого-либо нового объекта будут участки территории, где совпали «1» всех слоев.

В более общем случае построение запроса к созданным наборам данных, необходимым для решения задачи, требует задания четких критериев пригодности, например, для размещения объекта подходят: неиспользуемые земли, площадью  $>2$  га, с наклоном поверхности  $<6^\circ$ , расстоянием от шоссе  $<0,8$  км и удаленностью от жилых районов  $>2$  км. Чтобы указать, какие участки территории удовлетворяют заданным критериям, создаются слои пригодности по каждому фактору. Эта процедура необходима, поскольку нельзя сложить семантические атрибуты тематических классов. Каждый такой слой состоит из классов, численные значения которых отражают ранжирование слоя по степени пригодности участков территории для размещения объекта, определяемой фактором. Для ранжирования требуется задать шкалу пригодности, а для учета относительной важности слоев – весовые коэффициенты.

Как правило, создание карты пригодности, предназначенной для показа оптимального размещения нового объекта, состоит из следующих шагов.

1. Определение установок ранжирования объектов каждого слоя по степени их пригодности для размещения нового объекта.
2. Определение весовых коэффициентов значимости слоев.
3. Реклассификация каждого слоя по степени пригодности (теперь в слоях значения, например, от 1 до 9).
4. Умножение слоев на весовые коэффициенты и объединение слоев.

Некоторые программы позволяют для исключения заведомо непригодных участков вводить значение «нет данных», что облегчает процедуру моделирования.

При оверлее слоев пригодности каждая ячейка регулярной сетки получает суммарное значение пригодности всех факторов, тем самым итоговый слой (или карта, если требуется ее создание) также будет ранжирован по пригодности участков территории к размещению объекта.

Аналогично строятся так называемые поверхности стоимости. Растр стоимости определяет стоимость прохода через каждую ячейку. Например, при проектировании дороги для создания поверхности необходимо определить стоимость построения дороги в каждой ячейке раstra. Поверхность обычно создается на основе нескольких критериев, построенных с учетом влияния на стоимость

классов землепользования, типа почв, уклона и т. п. Чтобы эти данные можно было использовать совместно, их необходимо рекласифицировать по единой шкале и умножить на коэффициент влияния факторов.

### **Инструменты анализа близости**

Инструменты определения и анализа близости (расстояний) позволяют: создавать растры, показывающие расстояние каждой ячейки от набора пространственных объектов, или ее расположение по отношению к ближайшему объекту; рассчитать кратчайший путь по поверхности или коридор между двумя местоположениями, что минимизирует два набора стоимости. Растры (или поверхности) расстояний используются в качестве входных данных в модели пригодности для проживания. Расстояние от водного потока может быть важным фактором для обитания животных, или при оценке стоимости пути. Наиболее востребованные инструменты оценки близости следующие.

*Евклидово расстояние* – определяет прямолинейное расстояние или расстояние, измеренное по кратчайшему пути; для заданного набора входных объектов, минимальное расстояние до объекта рассчитывается для каждой ячейки растра.

*Евклидово направление* – присваивает каждой ячейке значение, которое определяет направление до ближайшего входного пространственного объекта.

### **Инструменты моделирования распределений**

Для моделирования распределений объектов по расстояниям в *ArcGIS* могут быть использованы два инструмента.

*Распределение по Евклидову расстоянию* – позволяет подразделять территории и размещать каждую ячейку по отношению к ближайшему входному пространственному объекту. Такое действие аналогично созданию полигонов Тиссена при работе с векторными данными. Этот инструмент создает полигональные растровые зоны ячеек, ближайших к заданным входным точкам. Если можно точно определить максимальное расстояние для распределения, то результаты будут аналогичными созданию буферов вокруг исходных пространственных объектов.

*Распределение по стоимостному расстоянию* – создает растр, в котором стоимость перемещения увеличивается в зависимости от типа земель, дорог, затрат на бензин, стоимости жилья в зависимости от его местоположения и т. п.

В ГИС часто приходится строить и анализировать непрерывные распределения (статистические поверхности) на основе данных, имеющих дискретное распределение. Их применяют для оценки статистических свойств данных, таких как изменчивость пространственных данных, их распределение, зависимость (взаимосвязи) и глобальные тренды. Обычно это данные об отдельных местоположениях, полученные, например, в точках или на линиях при полевых исследованиях, результаты переписи. Основное назначение таких поверхностей – моделирование и исследование пространственных распределений и отношений между объектами – концентрация или рассеянность, связность или произвольность. Часто исходными данными для решения этой задачи служат некоторые ограниченные области, где необходимо оценить *плотность распределения* как непрерывную поверхность.

### **Инструменты моделирования плотности**

При пространственном анализе термин «плотность» применяют для количественной оценки распределения какого-либо явления по территории, создавая притом абстрактные поверхности плотности, которые показывают, где сосредоточены точечные и линейные объекты. Например, имеются показатели, отражающие общее число его жителей для каждого города, представленного точечным объектом, а необходимо оценить распределение населения по области. Путем расчета плотности можно создать растровую непрерывную поверхность, показывающую предсказываемую модель распределения населения по области, а значения в каждой ячейке растра равны сумме населения исходного точечного слоя.

Для вычисления плотности используют два типа инструментов – простые или так называемые ядерные. Для точечных и линейных объектов при простом вычислении плотности используются инструменты *Плотность точек (Point Density)* или *Плотность линий (Line Density)*.

Инструмент *Плотность точек* вычисляет плотность точечных объектов вокруг каждой ячейки выходного растра, т. е. вокруг центра каждой ячейки растра определяется окрестность, после чего

количество точек, попадающих в окрестность, подсчитывается и делится на площадь окрестности. Поле величины может быть использовано для присвоения некоторым точкам более высоких весов в зависимости от их значимости, или же для того, чтобы определить, что одна точка представляет несколько наблюдений. Так, если значение поля Численность (обобщенное название поля – *Population*) отличается от значения NONE, значение каждого элемента определяет количество подсчетов точки. Например, значение, равное трем, приводит к тому, что точка будет подсчитана три раза. Значения могут быть целыми числами или числами с плавающей точкой. Если единицы измерения площади выбраны, вычисленная для ячейки площадь умножается на соответствующий коэффициент до того, как значение записывается в выходной растр. Например, если входные единицы измерения на местности – метры, коэффициент масштаба, используемый для перевода метров в километры, приведет к тому, что значения на выходном растре будут отличаться на множитель, равный 1 000 000 (1000·1000).

Возможные области применения этого инструмента – поиск плотности домов, изучение дикой природы, анализ преступности. Увеличение радиуса не сильно изменит вычисленную плотность значений. Хотя в окрестность большего размера будет попадать большее количество точек, при вычислении плотности их число будет поделено на большую площадь. Основным эффектом от использования большего радиуса поиска заключается в том, что плотность вычисляется с учетом большего количества точек, которые могут быть удалены на большее расстояние от ячейки растра. Это приводит к построению более генерализованного выходного растра.

Инструмент Плотность линий вычисляет плотность линейных объектов в окрестности каждой ячейки выходного растра и ее значение вычисляется в единицах длины на единицу площади. Тем самым, вокруг центра каждой ячейки растра строится окружность, радиус которой равен радиусу поиска, длина части каждой линии, которая попадает внутрь окружности, умножается на значение величины поля Численность (*Population*), полученные значения суммируются и результат делится на площадь круга.

Таким образом, для получения значения плотности в каждой ячейке заданные значения численности в точках или линиях, попа-

дающих в пределы области поиска (определённой окрестности), суммируются, затем делятся на площадь окрестности.

Более сложный способ предполагает использование ядерной функции инструментом *Плотность ядра (Kernel Density)*. При применении этой функции в *ArcGIS Spatial Analyst* задают окрестность поиска в форме круга вокруг каждой известной (опорной) точки (не вокруг каждой ячейки), а затем применяется математическая функция, которая присваивает значение 1 центральной ячейке окрестности поиска, и значение 0 – по ее границам. Таким образом, вокруг каждой точки строится выпуклая симметричная поверхность – ядро; при вычислении плотности размер ядра определяется величиной радиуса поиска; центр ядра расположен в исследуемой точке.

Разница между выходными данными двух простых инструментов и инструмента ядерной функции состоит в том, что построение поверхности плотности простым методом представляет собой определение круговой окрестности (области поиска), вокруг каждой ячейки, а вычисление плотности в ней проводится путем деления количества исследуемых объектов (например, мест наблюдений) в пределах окрестности поиска на площадь этой области, т. е. размер радиуса поиска является определяющим фактором при построении поверхности плотности. Использование большего радиуса приводит к построению более гладкой поверхности.

При применении ядерной функции выполняется круговой поиск окрестности для каждой опорной точки, затем вычисляется значение плотности каждой ячейки, учитывая все перекрывающиеся окрестности поиска, в которые попадает эта ячейка: если две или больше окрестностей поиска перекрывают центр (центроид) ячейки, значение плотности в ней представляет собой сумму значений всех ядерных для этой ячейки, разделенную на площадь окрестности поиска. Плотность выражается на единицу площади, например,  $1/\text{км}^2$ , и чем больше радиус поиска, тем более сглаженная поверхность получится в результате.

Расчет плотности может быть выполнен на основе атрибутов объектов распределения. Например, для расчета плотности населения по данным, представленным точками, в атрибутивной таблице которых есть поле с данными о численности населения, плотность вычисляется как ее суммарный показатель, отнесенный к

единице измерения площади (кв. км или др.), что позволяет оценить распределение населения по всей территории.

## **4.2. Задание практикума**

### ***Цель***

Задание посвящено освоению технологий создания и использования растровых и регулярно-ячеистых моделей. Такие модели могут быть применены для определения соотношения типов поверхностей по каждой ячейке, к ним удобно применять операции алгебры карт (сложение, вычитание, суммирование и т. д.), они позволяют решать задачи выбора оптимального местоположения участка для строительства производственного объекта на основе заданных критериев выбора, анализа плотности размещения объектов; выполнять сглаживание получаемых распределений.

### ***Необходимые знания***

Инструменты геообработки *ArcGIS*.

Преобразование слоя типов землепользования в растровое представление.

Расчет и классификация углов наклона.

Построение и классификация евклидовых расстояний от дорог.

Построение и классификация евклидовых расстояний до водотоков.

Нахождение мест с наилучшей комбинацией факторов с использованием взвешенного оверлея.

Конвертирование выделенных зон в векторный формат.

Выбор участков, имеющих необходимую площадь.

Анализ пространственных распределений.

Способы измерения отношений между объектами и механизм создания распределений.

Распределение точек (точечных объектов).

Распределение полигональных объектов.

### ***Ключевые слова***

Регулярная сетка, растровая модель данных, взвешенный оверлей, евклидово расстояние, пространственный анализ на растре, плотность распределения, сглаживание растровой поверхности с применением ядерной функции.

## 4.3. Упражнения

### Упражнение 12. Анализ распределения типов подстилающей поверхности

#### *Задачи*

В задачах климатического и метеорологического моделирования, а также моделирования поверхностного стока важную роль играет характер подстилающей поверхности, а именно соотношение водопроницаемых и водоупорных поверхностей, соотношение площадей леса, водных объектов, открытых грунтов, застройки и т. д. Подготовка этих данных осуществляется средствами ГИС на основе картографических данных и данных дистанционного зондирования.

В упражнении предлагается сформировать регулярную сетку и методом оверлея определить соотношение типов поверхностей по каждой ячейке. Результаты далее экспортируются в текстовый файл для дальнейшего использования при моделировании, а на основе полученных данных оформляется карта соотношения типов поверхностей методом картодиаграмм.

#### *Исходные данные*

Слои картографической основы *OpenStreetMap*.

#### *Результат*

Слой регулярной сетки, для каждой ячейки которого определено соотношение типов подстилающей поверхности.

Картодиаграммы типов подстилающей поверхности.

Проект карты с компоновкой.

#### **Оформление базовых слоев**

1. Скопируйте каталог *Ex12* в свою папку.
2. Подключитесь в окне каталога к вашей папке *Ex12*. Убедитесь, что в ней находится база геоданных *LandCover.gdb*.
3. Добавьте на карту следующие слои и раскрасьте их в соответствии с указанными цветами:

Hydro	Голубой
Green	Зеленый
Industrial	Оранжевый
Buildings	Темно-серый

4. Сохраните документ карты в папку под названием *LandCover.mxd*.

### Построение регулярной сетки

1. Создайте новую базу геоданных. Для этого в окне *Catalog* щелкните правой кнопкой мыши по вашей папке *<Ваша папка>\Ex12* и выберите *New-File Geodatabase*.
2. Назовите базу геоданных *Ex12*.
3. Щелкните на *Ex12.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*. Эта команда указывает системе, что все результаты автоматической обработки данных следует помещать в выбранную базу геоданных.
4. Откройте *ArcToolbox* (иконка с красным сундучком на панели инструментов).
5. Запустите инструмент геообработки *Data Management Tools – Feature Class – Create Fishnet* и заполните его параметры следующим образом:

Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex12\Ex12.gdb\fishnet_1000
Template Extent	Same as Layer Buildings
Cell Size Width	1000
Cell Size Height	1000
Number of Rows	0
Number of Columns	0
Create Label Points	Нет
Geometry Type	POLYGON

Остальные параметры оставьте по умолчанию.

6. Нажмите *OK*. После выполнения процедуры расчетная сетка будет добавлена на экран.
7. Разместите слой *Fishnet* поверх других слоев и смените его символ на черную линию толщиной 1 пункт.
8. Сохраните документ карты.

### Подсчет доли водных объектов в площади ячеек

1. Запустите инструмент *Analysis Tools – Statistics – Tabulate Intersection*.
2. Заполните его параметры следующим образом:

Input Zone Features	fishnet_1000
Zone Fields	OID
Input Class Features	Hydro
Output Table	<Ваша папка>\Ex12\Ex12.gdb\fishnet_1000_Hydro

3. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
4. Нажмите *OK*, после выполнения расчетов таблица результатов будет добавлена в таблицу содержания.
5. Откройте таблицу и посмотрите значения в поле *PERCENTAGE* – они отражают долю объекта в площади ячейки.

### **Подсчет доли прочих типов поверхности в площади ячеек сетки**

Повторите операцию подсчета доли площади для оставшихся трех слоев, используя следующие параметры.

<b>Входной слой</b>	<b>Выходной слой</b>
Green	Fishnet 1000 Green
Industrial	Fishnet 1000 Industrial
Buildings	Fishnet 1000 Buildings

### **Добавление и инициализация атрибутивных полей**

1. Откройте таблицу атрибутов слоя *Fishnet*:
2. Добавьте в нее поле, которое будет хранить значение доли водных объектов. Для этого выберите в главном меню таблицы команду *Add Field...* и заполните параметры появившегося диалога следующим образом:

Name	Hydro
Type	Float

Остальные параметры оставьте по умолчанию.

3. Добавьте аналогичным образом поля *Green*, *Industrial*, *Building*, а также *Other*, которое будет использоваться для хранения доли прочих поверхностей.
4. Используя *калькулятор поля*, заполните каждое поле значением “0”.
5. Сохраните документ карты.

## Присоединение таблицы с долей водных объектов

1. Откройте слой *Fishnet* на редактирование.
2. Присоедините таблицу *WaterRatio* к слою *Fishnet*. Для этого откройте свойства слоя *Fishnet*, перейдите на вкладку *Joins & Relates* и нажмите *Add* в группе *Joins*.
3. Укажите параметры свойств слоя следующим образом:

1	<i>OID</i>	Поле, содержащее уникальный идентификатор каждой записи
2	<i>Fishnet_1000_Hydro</i>	Присоединяемая таблица
3	<i>OID</i>	Поле в присоединяемой таблице, которое соответствует полю 1 в исходной
Join Options	<i>Keep Only Matching Records</i>	Будут сохранены только те записи, для которых найдены совпадения поля <i>OID</i>

4. При указании свойств соединения отметьте флажком опцию *Keep Only Matching Records*.
5. Используя калькулятор поля, перенесите значения из присоединенного столбца *PERCENTAGE* в столбец *Hydro* слоя *Fishnet*. Для этого щелкните правой кнопкой мыши по заголовку столбца *Hydro* и выберите в контекстном меню команду *Field Calculator*. В появившемся диалоге введите следующий текст команды:

[fishnet\_1000\_Hydro.PERCENTAGE]

Для подстановки названия поля в строку дважды щелкните на нем в списке. Обратите внимание на точечную нотацию. Текст до точки – это название таблицы. Текст после точки – название поля.

6. Нажмите *OK*. Значения будут скопированы их одного столбца в другой.
7. Удалите соединение таблиц.

## Присоединение таблиц прочих типов поверхностей

Повторите операцию соединения для таблиц *Fishnet\_1000\_Green*, *Fishnet\_1000\_Industrial* и *Fishnet\_1000\_Buildings*. После присоединения вычислите на их основе соответствующие поля в таблице *Fishnet*. Не забудьте перед каждым новым соединением удалять предыдущее.

## Вычисление доли прочих поверхностей

Вычислите долю прочих поверхностей в поле *Other*, используя следующее выражение в калькуляторе поля:

$$100 - [\text{Hydro}] - [\text{Green}] - [\text{Industrial}] - [\text{Buildings}]$$

После вычисления завершите сеанс редактирования слоя.

## Вычисление координат центров ячеек

Для использования данных при моделировании важно знать координаты центров ячеек.

1. Добавьте столбцы *X* и *Y* типа *Long Integer* в таблицу слоя *Fishnet*.
2. Вычислите их с помощью калькулятора геометрии. Для этого щелкните на столбце *X* правой кнопкой мыши и в контекстном меню выберите команду *Calculate Geometry*.
3. В появившемся диалоге выберите режим *X Coordinate of Centroid* и нажмите *OK*.
4. Повторите операцию для столбца *Y*.
5. Сохраните документ карты.

## Экспорт таблицы в файл

Экспортируйте результирующую таблицу в текстовый файл для ее дальнейшего использования. В главном меню таблицы выберите команду *Export...*

1. В поле *Output Table* нажмите кнопку указания места сохранения файла и перейдите в ваш каталог *Ex12*.
2. Смените тип файла на текстовый и назовите его *Results.txt*.
3. Откройте получившийся файл через *Проводник*, чтобы просмотреть его содержимое.

## Построение картодиаграмм

Для визуализации соотношения типов поверхностей по ячейкам удобно использовать картодиаграммы.

1. Установите масштаб изображения 1:100 000.
2. Измените способ изображения слоя *Fishnet* на *Pie Charts* (картодиаграммы).
3. Добавьте столбцы *Hydro*, *Green*, *Industrial*, *Buildings* и *Other* в поля картодиаграммы и раскрасьте их в соответствии с подсказкой на экране.

4. Нажмите кнопку *Size* и установите диаметр кружка равным 18 пунктам.
5. Символ *Background* сделайте без заливки и с черной обводкой. Нажмите *OK*.
6. Установите *прозрачность* для всех слоев 70%, чтобы подложка не мешала восприятию картодиаграмм.

### **Оформление компоновки карты**

Оформите карту на один из фрагментов территории, на котором встречаются ячейки с разным типом поверхности.

1. Переключитесь в режим компоновки.
2. Переименуйте слой *Fishnet\_1000* в «*Типы подстилающей поверхности*».
3. Установите масштаб карты равным 1:100 000 и переместите изображение на выбранный вами участок территории.
4. Добавьте легенду для слоя «*Типы подстилающей поверхности*».
5. Добавьте заголовок карты.
6. Добавьте масштаб.
7. Экспортируйте карту в файл *LandCover.png* в директорию *Ex12*.
8. Вставьте карту в отчетный файл.
9. Сохраните документ карты.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Сохраните результаты исследований и ответьте на вопросы в отчетном файле. После окончания положите отчет в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 13. Выбор оптимального местоположения**

### **Задачи**

Задание посвящено выбору оптимального местоположения для строительства производственного объекта. Критерии выбора участка следующие:

- оптимальные зоны для размещения – открытые пространства, такие как выгоны, пустыри, луга, вырубки и т. д.,
- предельный угол наклона рельефа – 12,5°,

- участок должен располагаться в непосредственной близости от автомобильных дорог,
- участок должен располагаться в непосредственной близости от крупных водотоков, поскольку требуется водоснабжение,
- необходимая площадь участка – не менее 30 000 м<sup>2</sup>.

Таким образом, в анализе участвует пять факторов: тип землепользования, углы наклона рельефа, расстояние до автодорог, расстояние до водотоков, площадь участка. Поскольку расстояния и углы наклона меняются в пространстве непрерывно, для их анализа удобно использовать растровое представление. К нему же необходимо привести типы землепользования, применив векторно-растровое преобразование. Каждый из полученных слоев необходимо классифицировать по балльной шкале от 1 до 10 и затем получить взвешенную сумму баллов по всей территории. Оптимальное местоположение будет соответствовать участкам с максимальной суммой баллов. Среди них необходимо отобрать удовлетворяющие критерию площади.

### ***Исходные данные***

База данных «Сатино».

### ***Результат***

Слой базы пространственных данных, содержащий участок с оптимальной суммой критериев.

### **Перед началом работы**

1. Скопируйте папку *Ex13* в свой рабочий каталог с помощью Проводника. Откройте ее.
2. Откройте документ под названием *Ex13\_Selection.mxd*.
3. Создайте новую базу геоданных. Для этого откройте окно *Catalog*, щелкните правой кнопкой мыши по верхней строчке *<Ваши папки>\Ex13* и выберите *New-File Geodatabase*. Назовите базу геоданных *Ex13*.
4. Щелкните по *Ex13.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*. Эта команда указывает системе, что все результаты автоматической обработки данных следует помещать в выбранную базу геоданных.

## Преобразование слоя типов землепользования в растровое представление

Поскольку в анализе будут участвовать растровые слои с различными расстояниями и углами наклонов, необходимо и данные по землепользованию привести к растровому виду.

1. Найдите в базе геоданных *Satino.gdb* слой *LandUse* в группе *Thematic* и перенесите его в таблицу содержания карты.
2. Визуализируйте слой Землепользование способом категорий, используя поле *Тип участка (Land\_Type)*. Тратить время на подбор цветов не следует, так как далее будет использоваться только растровый слой.
3. Нажмите *OK*, чтобы завершить настройку способа изображения.
4. Откройте *ArcToolbox*.
5. Запустите инструмент *Conversion Tools – To Raster – Polygon to Raster*.
6. Заполните его параметры следующим образом.

Input Features	Землепользование
Value Field	Land_Type
Output Raster Dataset	<Ваша папка>Ex13.gdb\LandUse_R
Cellsize	2,5

В поле *Output point features* прописан полный путь к базе геоданных в вашем каталоге. Вам потребуется заменить только название класса объектов (последняя часть пути после символа \).

После завершения работы инструмента конвертации в таблицу содержания добавится новый слой.

7. Выделите его, нажмите клавишу F2 и переименуйте в *Землепользование (растр)*.
8. Дважды щелкните по этому слою и перейдите на вкладку *Symbology*.
9. Смените поле отображения *Value field* на *Land\_type*. В легенду автоматически подставятся все найденные значения. Присвойте классам подходящие цвета в соответствии с их типом.

10. Удалите векторный слой *Землепользование* из таблицы содержания. Далее в этом упражнении он не понадобится.
11. Нажмите *OK*. Переместите растровый слой наверх и сделайте его активным.

***Увеличьте масштаб до величины порядка 1:2 000. Изучите отличия векторного и растрового слоя, последовательно отключая векторный. Чем они отличаются?***

### **Расчет углов наклона**

Углы наклона рельефа – основной ограничивающий фактор при ведении хозяйственной деятельности, в том числе и при строительстве. При расчете углов наклона используется цифровая модель рельефа.

1. Найдите слой *DEM* в базе геоданных *Satino* и перенесите его в таблицу содержания карты. Поместите его вниз таблицы содержания под слой *Землепользование (растр)*.
2. Запустите инструмент вычисления углов наклона *Spatial Analyst Tools – Surface – Slope* и заполните его параметры следующим образом:

Input Raster	DEM
Output Raster	<Ваша папка>Ex13\Ex13.gdb\Slope

Остальные параметры в диалоге оставьте по умолчанию.

3. Нажмите *OK*, чтобы запустить расчеты.
4. После того как слой углов наклона *Slope* добавится в таблицу содержания, переименуйте его в *Углы наклона*.

Обратите внимание на то, что значения углов были классифицированы на несколько интервалов, которым был присвоен цвет.

Эта классификация является динамической и при желании ее можно поменять на вкладке *Symbolology* в свойствах слоя.

### **Расчет расстояний**

#### ***Дороги***

Чтобы определить участки, подходящие с точки зрения транспортной доступности, можно построить растр, в каждой ячейке которого будет содержаться расстояние (евклидово) до ближайшей дороги.

1. Добавьте на карту слой дорог *General/Roads* из базы геоданных *Satino*.
2. Откройте пункт меню *Selection–Select by attributes*, выберите слой *Дороги и тропы* и в конструктор запроса введите следующее выражение:  
“Description” = ‘Асфальтированные’ OR “Description” = ‘Проселочные’

Выборка позволит учитывать при анализе только дороги (в слое также содержатся тропы). Нажмите *OK*.

3. Постройте растр расстояний для выбранных дорог. Для этого запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Distance – Euclidian Distance*.
4. Выберите в качестве *Input Raster or Feature* слой *Roads*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
5. Нажмите *OK*. Получившийся растр будет добавлен на карту. Переименуйте его в *Расстояния до дорог*.
6. Снимите выделение со слоя дорог, нажав кнопку *Clear Selected Features* на панели инструментов *Tools*. Обратите внимание на то, что расстояния были вычислены не для всех дорог, а только для выбранных.

### **Водотоки**

Выполните расчет расстояний до водотоков самостоятельно, руководствуясь следующей схемой.

1. Добавить на карту слой *General/WaterPolygon* (Гидрография (Полигоны)).
2. Выбрать вручную крупные реки (Протва, Исьма) инструментом *Select Features By Rectangle* на панели инструментов *Tools*.
3. Запустить инструмент *Euclidian Distance* для слоя *Гидрография (полигоны)*. Все параметры оставить по умолчанию.
4. Получившийся после расчетов слой переименовать в *Расстояния до водотоков*.

### **Классификация углов наклона**

Поскольку в анализе будет участвовать несколько факторов, необходимо привести их значения к общей балльной шкале от 1 до 10. Для этого используется классификация растра.

1. Запустите инструмент классификации *Spatial Analyst Tools – Reclass – Reclassify*.
2. Выберите в качестве *Input raster* слой *Углы наклона*.
3. Нажмите кнопку *Classify...*, чтобы настроить классы.
4. Раскройте список методов классификации вверху диалогового окна.  
***Какие методы классификации доступны в инструменте Reclass? Какие принципы в них заложены? Попробуйте выбрать разные методы классификации и посмотрите, как меняются границы классов.***
5. Выберите режим естественных интервалов *Natural Breaks (Jenks)* и установите количество интервалов равным 10.  
*Метод естественных интервалов Дженкса минимизирует дисперсию внутри классов и максимизирует отличия между классами.*
6. Нажмите *OK*, чтобы завершить настройку метода классификации.
7. Нажмите кнопку *Reverse new values*, чтобы инвертировать значения классов (меньшие углы наклона должны иметь больший вес).
8. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
9. Нажмите *OK*, чтобы запустить выполнение процедуры.
10. После того как в таблицу содержания будет добавлен слой классифицированных углов наклона, переименуйте его в *Углы наклона (классы)*.
11. Через свойства слоя на вкладке *Symbolology* присвойте классам шкалу от зеленого к красному, так чтобы *класс 1 был красным, а класс 10 был зеленым*. Если у вас получилось наоборот, нажмите мышкой на заголовке столбца *Symbol* и выберите в меню *Flip Colors* (сменить порядок цветов на противоположный).
12. Нажмите *OK* в диалоге свойств слоя, чтобы закрыть его.
13. Сохраните документ карты.

## **Классификация расстояний**

### ***Дороги***

1. Запустите инструмент *Reclassify*. Выберите в качестве *Input raster* слой *Расстояния до дорог*.

2. Нажмите кнопку *Classify...*, чтобы настроить классы.
3. Настройте метод классификации на *Geometric Intervals*, и установите число интервалов равным 10. Метод геометрических интервалов позволяет сконцентрировать зоны с высокими баллами на небольшом расстоянии от дорог. Нажмите *OK*.
4. Нажмите кнопку *Reverse New Values*, чтобы инвертировать номера классов и максимальный балл получили классы с малыми расстояниями.
5. Переименуйте выходной класс в *Reclass\_Euc\_Roads*. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
6. Запустите вычисления, нажав кнопку *OK*.
7. После того, как классифицированный растр расстояний до дорог появится на карте, переименуйте его в *Расстояния до дорог (классы)*.
8. Настройте отображение нового слоя на красно-зеленую шкалу.
9. Удалите из таблицы содержания оригинальный слой *Расстояния до дорог*.

### **Водотоки**

Выполните классификацию самостоятельно в соответствии со следующим планом:

1. Запустить инструмент *Reclassify* для слоя *Расстояния до водотоков*.
  - в качестве метода классификации выбрать *Quantile* (квантиль), число классов – 10. Исправьте в столбце справа последнее значение на 2400, чтобы заведомо включить максимум;
  - инвертировать номера классов;
  - переименовать выходной слой в *Reclass\_Euc\_Water*.
2. Получившийся слой назвать *Расстояния до водотоков (классы)* и раскрасить в стандартной зелено-красной шкале.
3. Удалить из таблицы содержания оригинальный слой *Расстояния до водотоков*.
4. Снять выделение с объектов гидрографии.
5. Сохранить карту.

## Поиск мест с наилучшей комбинацией факторов с применением взвешенного оверлея

Наилучшие участки соответствуют территориям, где сумма баллов по всем факторам максимальна. Соединение значений (в том числе и сложение) по нескольким слоям, располагающимся друг над другом, осуществляется посредством растрового оверлея.

1. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Overlay – Weighted Overlay*.
2. Исправьте значения полей *From, To и By* на 1, 10 и 1, соответственно. Тем самым инструменту будет указано, что необходимо полученные суммы ранжировать по баллам с 1 до 10 с шагом в 1 балл.
3. Щелкните на кнопке добавления слоя вверху диалога.
4. В появившемся диалоге выберите *Углы наклона (классы)* в списке *Input Raster*. В поле *Input field* оставьте значение по умолчанию. Нажмите *OK*.

Обратите внимание на появившуюся таблицу: она выводит значения классов, взятые из слоя (столбец *Field*), и позволяет сменить их (столбец *Scale Value*) при выполнении оверлея.

Необходимо запретить строительство на участках с углами наклона более 12,5 градусов. Такие углы наклона возможны в классах 1–5 (в соответствии с проведенной классификацией).

5. Щелкните на ячейке поля *Scale Value* напротив 1 класса и выберите из списка значение *Restricted* (запрещен).
6. Повторите эту операцию для 2–5 классов.
7. Добавьте в таблицу оверлея слои *Расстояния до дорог (классы)* и *Расстояния до водоемов (классы)* с помощью кнопки “+”. Не меняйте значения классов в таблице.
8. Сверните таблицы классов, нажав кнопку в начале каждой строки.
9. Добавьте в таблицу оверлея слой *Землепользование (растр)*. Однако на этот раз выберите для него в качестве поля со значениями классов *Land\_type*.
10. Присвойте различным классам земель веса, при этом обратите внимание на то, что больший вес имеют территории, более доступные для размещения площадки. Следует заме-

тить также, что заболоченные земли и объекты гидрографии следует запретить для выбора, указав им класс *Restricted*. В эту же категорию попадают участки, где нет данных.

Осталось определиться с тем, какие факторы будут иметь максимальный вес. Заказчик решил, что приоритет в наборе факторов следует отдать близости к автодорогам. Среди остальных факторов меньше внимания можно уделить углам наклона рельефа, поскольку они уже были ограничены параметром *Restricted*.

11. Заполните веса в колонке *%Influence* следующим образом:

- углы наклона – 15,
- расстояния до дорог – 35,
- расстояния до водоемов – 20,
- землепользование – 30.

12. Нажмите *OK*, чтобы запустить вычисления.

13. После того, как результат оверлея будет добавлен в таблицу содержания, переименуйте слой в *Комбинация факторов*.

14. Примените к полученному слою стандартную красно-зеленую шкалу.

Изучите получившееся изображение. Насколько оно отвечает тем требованиям, которые выдвигались при анализе факторов? Отмечается ли близость темно-зеленых участков к дорогам, водоемам? Каким цветом закрашены участки с крутыми склонами?

## **Конвертирование результирующих зон в векторный формат**

В качестве потенциальных мест на размещение площадки следует выбрать 10-балльные участки. Затем можно конвертировать эти участки в векторный формат, чтобы получить границы.

1. Откройте атрибутивную таблицу слоя комбинаций и выделите строку со значением 10. Пикселы этого класса подсвоятся на карте.
2. Запустите инструмент *Conversion Tools – From Raster – Raster to Polygon*.
3. Выберите в качестве входного слой *Комбинация факторов* и нажмите *OK*.
4. Переименуйте получившийся слой в *Потенциальные участки*. Обратите внимание, что полигональные объекты были построены только для пикселов, которые выделены на экране.

5. Смените цвет выделенных полигонов на ярко-желтый и нажмите глобус (*Full extent*), чтобы вся карта поместилась на экран.

### **Выбор участков, имеющих необходимую площадь**

Для выбора участков по площади следует использовать атрибутивный запрос.

1. Откройте пункт меню *Selection–Select by attributes*, выберите слой *Потенциальные участки*.
2. В конструктор запроса введите следующее выражение:  
“Shape\_Area” > 30 000

Нажмите *OK*.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Упражнение 14. Анализ плотности распределения**

### ***Задачи***

Задание посвящено знакомству с анализом плотности размещения объектов на примере густоты дорожной сети. Анализ густоты является одним из фундаментальных методов исследования географических закономерностей размещения объектов, который позволяет выявить неравномерности и связать их с географическими условиями и соседством.

### ***Исходные данные***

База данных, созданная по цифровой топографической карте 1:1 000 000 на территорию России.

### ***Результат***

Растры густоты дорожной сети, полученные методом простого подсчета длины линий и путем ядерного сглаживания с разным радиусом влияния.

Карта густоты дорожной сети с компоновкой.

### **Создание базы данных**

1. Создайте в директории *Ex14* новую файловую базу геоданных и назовите ее *Analysis*.
2. Назначьте созданную базу данных *базой данных по умолчанию*.

## Построение поверхностей густоты дорожной сети

1. Добавьте на карту слой *Roads* из базы данных *MapData.gdb* в папке *Ex14*. Это дороги на территорию России, оцифрованные по картам масштаба 1:1 000 000.
2. Используя команду меню *Customize–Extensions*, включите модуль *Spatial Analyst*.
3. Откройте *ArcToolbox*.
4. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Density – Line Density* и заполните его параметры следующим образом.

Input polyline features	Roads
Output cell size	10000
Output raster	<Ваша папка>\line_dens_100
Search radius	100000
Area units	SQUARE_KILOMETERS

5. Нажмите *OK*, чтобы запустить инструмент. Когда вычисления закончатся, созданная поверхность будет добавлена на карту.
6. Отключите слой *roads* и установите *передискретизацию* слоя *line\_dens\_100* в режим *Cubic Convolution*.
7. Примените к растру цветовую шкалу от синего к красному.
8. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Density – Kernel Density* и заполните его параметры аналогично предыдущему инструменту. Назовите выходную поверхность *kernel\_dens\_100*.
9. Примените к получившемуся слою такую же цветовую шкалу, как и предыдущему.
10. Установите режим передискретизации результирующего слоя *Cubic Convolution*.
11. Присвойте слою дорог черный цвет и установите ему прозрачность 70%.
12. Сравните растры, полученные методами *Line Density* (простой подсчет длины линий в пределах плавающего окна) и *Kernel Density* (подсчет с использованием кернфункции).

**Какой тип оператора дает более гладкую поверхность?**

## Оценка влияния радиуса поиска (kernel density)

1. Создайте методом *Kernel Density* еще два растра густоты дорожной сети с радиусом поиска (*Search radius*) 200 000 и 400 000 м, соответственно, и разрешением (*Output cell size*) равным 20 000 м. Назовите их *kernel\_dens\_200* и *kernel\_dens\_400*, соответственно.
2. Примените к полученным растрам настройки отображения по аналогии с предыдущими результатами.
3. Оцените влияние радиуса поиска на сглаженность поверхности.
4. Сохраните карту в каталог *Ex14* под названием *Roads.mxd*.

## Масштабирование значение показателя

Полученные растры отражают искаженное значение плотности, поскольку исходный слой дорог содержит не все дороги. Их количество преуменьшено примерно в 10 раз (карта масштаба 1:1 000 000). Чтобы привести значение густоты к должной величине, умножьте растр на 10.

1. Запустите инструмент *Spatial Analyst – Math – Times*.
2. Выберите в качестве первого растра *kernel\_dens\_100*.
3. Вместо второго растра введите число 10.
4. Переименуйте результирующий растр (*Output Raster*) в *kernel\_dens\_100\_x10* и запустите инструмент.

## Оформление карты густоты дорожной сети

1. Оставьте включенным только слой *kernel\_dens\_100\_x10*.
2. Добавьте на карту слой *countries* из базы данных *MapData.gdb*.
3. Уберите у него заливку, а обводку установите черной, толщиной 1,5 пиксела.
4. Выделите на карте полигон территории России.
5. Запустите инструмент *Spatial Analyst – Extraction – Extract by Mask*, чтобы обрезать растр по границе России. Заполните его параметры в соответствии с предлагаемым диалогом.

6. Примените к полученному растру следующие настройки отображения:

Метод отображения	Classified
Метод классификации	Natural Breaks (Jenks)
Число классов	9
Шкала	От синего к красному

Округлите значения полученных границ классов в столбце *Label* до одного-двух знаков после запятой и отсортируйте классы по убыванию значений.

7. Переименуйте слой в «*Густота дорожной сети*», а заголовок показателя в «*км/кв.км*».

### **Оформление итоговой карты**

1. Выделите полигоны территорий России, Аральского и Каспийского морей в слое *Countries*.
  2. Инвертируйте выборку.
  3. Создайте новый слой на основе выборки и назовите его «Страны». Присвойте ему символ с белой заливкой и черной обводкой толщиной 1,5 пункта.
  4. Переименуйте исходный слой *Countries* в «Границы».
  5. Установите заливку фрейма данных голубого цвета.
  6. Добавьте на карту слой *Cities*, примените к нему символ черного кружка диаметром 3 пункта и включите подписи по полю *Name\_normal* шрифтом *Tahoma*, кегль 8.
  7. Оформите компоновку карты.
- Сохраните все документы карт.

### **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## **Раздел 5**

### **МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ**

#### **5.1. Пространственное моделирование и пространственная интерполяция**

В географических исследованиях часто приходится выполнять анализ и строить картографическое изображение географических полей. Один из основных способов решения таких задач – построение моделей пространственного распределения показателей объектов на основе дискретно заданной информации (подразумевается не модель географического объекта или явления, а определенная форма представления данных и способ их структурного описания).

Модели географических полей предназначены для показа и исследования реальных и непрерывных географических распределений в виде полей (поверхностей) непрерывного распространения переменных значений показателей объекта или процесса, которые могут быть оценены в любой точке пространства с заданными координатами. Действительно, некоторые географические показатели меняются непрерывно, например, высота земной поверхности, температура воздуха, атмосферное давление или тип почв. Для построения моделей используют методы интерполяции показателей по их дискретным измерениям в определенных точках пространства.

Модели географических полей широко используются в ГИС для выполнения географического анализа и пространственного моделирования. Легко сделать вывод, что выбор концептуальной модели пространственной информации связан с характером объектов. Например, для решения транспортных задач и для природно-ресурсных приложений необходимы разные модели. Такие модели хорошо коррелируют с картографическими моделями, традицион-

но применяемыми для исследования геосистем и визуализации географической информации.

### **Задачи пространственного моделирования**

Среди методов и технологий пространственного моделирования выделяют три главных направления: моделирование структуры геосистем, моделирование взаимосвязей и моделирование динамики.

*Моделирование структуры геосистем* базируется на комплексном изучении географических объектов и заключается в территориальной дифференциации на основе установления однородности свойств выделяемых районов. Проблема осложняется тем, что эти однородные свойства определяются многими факторами, часть из которых имеет корреляционные связи. Для исследования закономерностей территориальных структур, особенно обладающих свойством сплошного распространения, используют методы построения и анализа географических полей, или *поверхностей*. Эти методы широко применяются при исследовании рельефа земной поверхности и в гидрологических исследованиях (водотоков, водосборных бассейнов и т. п.).

*Моделирование взаимосвязей* предназначено для отражения причинно-следственных и пространственных связей исследуемых явлений, определения их важнейших факторов, и далее – для предсказания развития ситуаций и принятия решений. Основные способы моделирования взаимосвязей – создание слоев отношений факторов с использованием пространственных и атрибутивных запросов и логических процедур оверлея.

*Моделирование динамики* географических явлений, развития геосистем во времени заключается в последовательном представлении их состояний во времени и определении различий между ними. Модели изменений создают на основе разновременных карт, аэро- и космических снимков.

### **Способы моделирования**

Построение пространственных моделей геополей основано на существующей пространственной корреляции характеристик объектов, определяемой географической организацией территории

(то есть, предполагается, что объекты, расположенные близко друг к другу, больше похожи между собой, чем удаленные друг от друга), и на применении разных методов пространственной интерполяции – вычисления неизвестного значения на основании известных значений в близлежащих опорных точках.

В основе алгоритмов интерполяции лежит критерий наилучшего приближения каждой точки построенной поверхности к реальной, зависящий от представления явления в точках измерений и от их распределения. В зависимости от положения исходных точек выделяют три типа их организации:

- регулярное расположение на прямоугольных сетках;
- полурегулярное размещение точек по структурным линиям, профилям, изолиниям;
- нерегулярное расположение по центрам площадей, характерным точкам, случайным сеткам.

Существуют и различные способы цифрового представления непрерывных поверхностей с использованием конечного количества данных. Выделяют четыре основных класса методов моделирования поверхностей, отличающиеся разными математическими подходами:

- методы обратных взвешенных расстояний (ОВР), основанные на предположении, что каждая измеренная точка имеет влияние, убывающее с расстоянием;
- методы сплайнов, исходящие из условия минимальной кривизны поверхности, проведенной через исходные точки;
- методы кригинга, в основе которых лежит предположение, что расстояние и направление изменений между точками указывает на пространственную корреляцию, помогающую описанию поверхности;
- методы выявления тренда, базирующиеся на вычислении полиномиальной математической функции для всех исходных точек методом наименьших квадратов, тем самым минимизируется отклонение от исходных точек.

Большая часть разработок представляет различные модификации этих методов, использующие математические, либо полуматематические приемы для их усовершенствования и улучшения компьютерной реализации.

Когда пространственные данные представлены в изобилии, разные методы аппроксимации и интерполяции дают близкие результаты. Другое дело, когда их мало или они неравномерно разбросаны относительно исследуемой территории. Тогда выбранные методы или параметры моделирования могут привести к заблуждениям, особенно если они основаны на статистике.

Среди физических моделей поверхности более востребованы цифровые модели рельефа (ЦМР) земной поверхности, изображаемые либо способом послойной окраски, либо в виде трехмерных (3D) изображений. Обычно понятие ЦМР связывается с некоторой сетью, а наиболее часто – с регулярной сетью высотных отметок. Самым важным параметром является разрешение: горизонтальное (расстояние между смежными точками сети) и вертикальное. Величина разрешения связана с масштабом и характеризует точность определений высоты и других показателей по ЦМР.

Модели абстрактных поверхностей отображают вариации одного географического фактора, такого, например, как плотность населения, и служат для выяснения общих закономерностей его пространственного распространения; используются в задачах исследования окружающей среды. В качестве примера абстрактной поверхности могут рассматриваться модели плотности распределения, рассматриваемые далее.

### **Подготовка исходных данных для создания модели**

Рассмотрим эту обязательную процедуру на примере создания цифровой модели рельефа. В основе большинства способов подготовки исходных данных для создания ЦМР лежит преобразование горизонталей, которые, в свою очередь, являются средством моделирования рельефа земной поверхности. Для этого сканируют расчлененные оригиналы, используемые для печати карт, полученные растровые изображения переводят в векторный формат. Изображения горизонталей редактируют и «привязывают» к высотам (атрибутируют). Горизонталы могут быть также оцифрованы вручную на дигитайзере. Дополнительные данные о высотах получают: из гидрографического слоя БД, береговая линия служит дополнительной горизонталью; из геодезических каталогов, содержащих

данные о пунктах геодезических сетей; из материалов полевых съемок или получаемых с использованием систем спутникового позиционирования. Применяют и фотограмметрический способ с использованием стереопар снимков в ручном и автоматизированном вариантах. Определение высотных отметок затруднено по фотоизображениям плоских поверхностей и в тех случаях, где поверхность скрыта зданиями, деревьями. Для любого метода сбора исходных данных характерны типичные погрешности, например, неправильного обозначения высот горизонталей при их сканировании, которые сказываются на качестве ЦМР.

Если созданная сеть точек является прямоугольной и регулярной, то при подходящем шаге сетки ее можно рассматривать как ЦМР всей поверхности. Однако чаще приходится применять сгущение сети – уменьшать шаг сетки, для чего используют простые, с точки зрения программирования, методы интерполяции по соседним узлам сетки. Регулярная сетка удобна для выполнения вычислений, но она с одинаковой дискретностью представляет и плавные, и резкие формы рельефа, что может привести к искажениям в представлении поверхности в ЦМР.

Во многих ГИС-пакетах, пакетах программ автоматизированного картографирования и построения горизонталей широко используется модель треугольной нерегулярной сети (TIN – Triangular Irregular Network). Она была разработана в начале 1970-х годов как способ построения поверхностей на основе набора неравномерно расположенных точек. В TIN-моделях нерегулярная сеть точек может размещаться в соответствии с особенностями территории (больше точек для пересеченной местности, меньше – для ровной). Такая нерегулярная выборка лучше отражает характер поверхности. Выбранные дискретно расположенные точки соединяют линиями, образуя треугольники – выполняют интерполяцию *методом триангуляции*. В качестве элементов мозаики иногда используют более сложные многоугольники, которые всегда можно разбить на треугольники.

Несмотря на простоту TIN, необходимо решить множество вопросов: как отбирать точки, как соединять точки в треугольники, как моделировать поверхность в пределах каждого треугольника. Характерные точки поверхности во многих случаях приходится выбирать из уже существующих регулярных сеток, растровых ЦМР

или оцифрованных горизонталей. Для этого используют методы выбора и кодирования локальных вершин, впадин и перевалов в пределах окна и последующего прореживания полученных точек, метод упорядочения расстояний между всеми парами точек. Обычно TIN на основе 100 точек отражает особенности поверхности так же хорошо, как ЦМР с несколькими сотнями точек.

Для особого случая использования TIN – триангуляции Делоне – строят наименьший многоугольник, включающий все узловые точки, который разбивается прямыми линиями на участки путем отнесения каждого из них к ближайшим узлам так, чтобы он содержал только одну узловую точку. Линии проводят через середины отрезков, соединяющих две соседние точки, перпендикулярно к ним. Границы, созданные в этом процессе, образуют набор многоугольников, называемых полигонами Тиссена (областями Вороного, Дирихле).

Отобранное множество точек образует вершины сети треугольников. Основное преимущество TIN-моделей состоит в том, что стороны треугольников можно совместить с известными ортографическими линиями. Поэтому иногда при триангуляции точек в сеть треугольников в качестве сторон вводятся «характерные линии». После формирования сети точек с регулярным или произвольным их расположением приступают к построению ЦМР, используя выбранный алгоритм интерполяции высот для каждой точки сети. В ГИС-пакетах и других специализированных графических пакетах программ обычно предлагается несколько методов интерполяции из наборов вышеизложенных методов, из которых пользователь выбирает более подходящий для моделируемой поверхности и существующего набора точек.

## **Методы интерполяции**

Методы интерполяции создают непрерывную поверхность на основании дискретной выборки измеренных значений, например, значений высот или химической концентрации. Главной составной частью создания цифровой модели поверхности является способ интерполяции для ее восстановления. Поверхность представляется как функция двух переменных  $z = F(x, y)$ , заданная в некоторых точках на плоскости. Задача интерполяции заключается в том, чтобы построить по этим данным функцию на всей

области, т. е. задать алгоритм вычисления  $z = F(x, y)$  в любой точке области. Результаты моделирования обычно представляются в виде растрового файла, который может быть отображен на карте изолиниями, часто в сочетании с послойной окраской. При моделировании абстрактных поверхностей интерполяция чаще осуществляется по ареалам (площадям, полигонам), в пределах которых картографируемый показатель не меняется, и результаты отображают в виде картограмм. Выбор способа интерполяции зависит от представления исходных данных и всегда необходима его оценка с точки зрения достоверности получаемых результатов.

Общая задача интерполяции по точкам формулируется так: дан ряд точек (узлов интерполяции), положение и значения характеристик в которых известны; необходимо определить значения характеристик для других точек, для которых известно только положение. При этом различают методы глобальной и локальной интерполяции, и среди них точные и аппроксимирующие.

При *глобальной* интерполяции для всей территории одновременно используется единая функция вычисления  $z = F(x, y)$ . В этом случае изменение одного значения  $(x, y)$  на входе сказывается на всей результирующей ЦМР. При *локальной* интерполяции многократно применяют алгоритм вычисления для некоторых выборок из общего набора точек, как правило, близко расположенных. Тогда изменение выбора точек сказывается лишь на результатах обработки небольшого участка территории. Алгоритмы глобальной интерполяции создают сглаженные поверхности с небольшим числом резких перепадов; они применяются в случаях, если предположительно известна форма поверхности, например, тренд. При включении в процесс локальной интерполяции большой доли общего набора данных она, по сути, становится глобальной. *Точные методы интерполяции* воспроизводят данные в точках (узлах), на которых базируется интерполяция и поверхность проходит через все точки с известными значениями. *Аппроксимационные методы интерполяции* применяются в тех случаях, когда имеется некоторая неопределенность в отношении имеющихся данных о поверхности; в их основе лежит соображение о том, что во многих наборах данных

отображается медленно изменяющийся тренд поверхности, на который накладываются местные, быстро меняющиеся отклонения, приводящие к неточностям или ошибкам в данных. В таких случаях сглаживание за счет аппроксимации поверхности позволяет уменьшить влияние ошибочных данных на характер результирующей поверхности.

При интерполяции необходимо решить два вопроса: как выбирать точки из сети и как представлять поверхность между ними. Проще всего они решаются для регулярной сети точек, и вместе с тем применяются для построения такой сети и ее сгущения. Наиболее часто применяемые методы основаны на линейной интерполяции, выполняемой от точки к точке: каждая пара точек сети соединяется отрезками прямых линий.

В TIN-моделях поверхность в пределах каждого треугольника обычно представляется плоскостью. Поскольку для каждого треугольника она задается высотами трех его вершин, то в общей мозаичной поверхности треугольники для смежных участков точно прилегают по сторонам: образуемая поверхность непрерывна. Однако, если на поверхности проведены горизонталы, то в этом случае они будут прямолинейны и параллельны в пределах треугольников, а на границах будет происходить резкое изменение их направления. Поэтому для некоторых приложений TIN в пределах каждого треугольника строится математическая поверхность, характеризующаяся плавным изменением углов наклона на границах треугольников.

В аппроксимационных методах интерполяции осуществляется подбор некоторой функции, такой что  $z \approx F(x, y)$ . Обычно функция отыскивается в виде полиномов заданной степени  $m$  вида

$$z = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^m a_{ij} x^i y^j,$$

где  $z$  – картографируемый показатель,  $a_{ij}$  – коэффициенты полинома,  $x, y$  – координаты точек сети. Коэффициенты обычно определяют методом минимизации среднеквадратических отклонений  $z$  на полиномиальной поверхности и в исходных точках, для чего необходимо, чтобы число точек было больше величины  $(m+1) \cdot (m+2) / 2$ .

## Методы и инструменты интерполяции по дискретно расположенным точкам

Каждый из инструментов интерполяции имеет множество параметров, которые влияют на создаваемую поверхность, при этом разные методы интерполяции могут создавать различные выходные поверхности, используя те же самые входные данные.

### *Интерполяция с использованием метода ОБР*

Метод ОБР (*Inverse Distance Weighted, IDW*) относится к наиболее используемым, особенно для моделирования плавно меняющихся поверхностей. Интерполированные значения представляют собой среднюю величину значений для  $n$  известных точек, либо среднее, полученное по интерполируемым точкам, и в общем случае обычно представляются формулой

$$z = \sum_{j=1}^n w_j z_j / \sum_{j=1}^n w_j,$$

где  $w$  – некоторая функция расстояния  $d$ , например,  $w = 1/d^2$  или  $w = e^{-d}$ . Можно использовать почти неограниченное число алгоритмов, различающихся по характеру функции расстояния, количеству исходных точек, способу их отбора. Обычно выбирают либо заданное число ближайших точек, либо точки, лежащие в окрестности заданного радиуса.

Преимуществом методов средневзвешенной интерполяции является его локальность: на значения моделируемой функции в любой точке практически не оказывают влияния опорные точки, далеко отстоящие от нее. Этот метод дает хорошие результаты в случае плотно расположенных известных точек.

В набор инструментов ОБР в *ArcGIS* предусмотрены дополнительные опции, позволяющие пользователю управлять влиянием исходных точек на интерполируемые значения.

Опция *Степень (POWER)* позволяет задавать значение степени (положительное, действительное число), так что при более высоких значениях влияние наиболее удаленных точек убывает с большей скоростью, а более низкие значения степени создают тенденцию к сглаживанию поверхности.

Опция *Радиус поиска* (фиксированный или переменный) ограничивает число исходных точек, которые применяются для вычисле-

ния значений в каждой интерполируемой ячейке, исключая точки, удаленные на значительное расстояние от ячейки; фиксированный радиус поиска используется для задания постоянного радиуса поиска, а для интерполяции в пределах окружности используется задаваемое минимальное количество точек; при переменном радиусе поиска задается количество точек, используемых при вычислении значения интерполируемой ячейки, что приводит к тому, что размер радиуса изменяется для каждой интерполируемой ячейки.

Интерполяция по методу ОВР, присваивает больший вес опорным точкам, расположенным ближе всего к ячейке, значение которой в данный момент интерполируется. По мере роста расстояния между входной точкой и ячейкой, вес опорной точки уменьшается.

Среди разновидностей метода ОВР, чаще всего используются модификации с указанием барьера и естественной окрестности.

*Барьер (barrier)* – класс линейных объектов, который ограничивает область поиска исходных опорных точек для интерполяции. Линия может отображать горную грядку, геологический разлом или другие резкие перемены на поверхности, отраженные в изолиниях. В процессе интерполяции используются только опорные точки, находящиеся на той же стороне барьера, что и обрабатываемая ячейка, происходит разделение процесса интерполяции. Барьеры представляют местоположение линейных объектов, о которых известно, что они нарушают непрерывность интерполируемой поверхности. Объекты барьеров не имеют  $z$ -значений, но действуют как ограничения для выбранного набора входных опорных точек, используемых для интерполяции выходных  $z$ -значений. Разделение барьером определяется анализом линии прямой видимости между каждой парой точек.

Использование метода ОВР с заданием барьеров требует повышенных временных затрат, которые можно сократить, выполнив генерализацию линии барьера.

*Интерполяция с использованием метода «Естественного соседа» (Natural Neighbor).*

Основное отличие этого метода от ОВР состоит в способе выбора опорных точек и их взвешивания при интерполяции каждой ячейки. Для поиска «естественной окрестности» для каждой точ-

ки строятся полигоны Тиссена, а затем применяется метод взвешенной площади (в отличие от взвешенного расстояния) для определения весов опорных точек. Значения интерполируются только для ячеек, которые попадают внутрь полигона, известного как «выпуклая оболочка» и который ограничивает набор опорных точек. Для его построения самые крайние опорные точки соединяются между собой.

Как и при использовании метода ОВР, значения выходной поверхности не будут превышать диапазон значений исходных опорных точек. Преимущество метода в том, что он может работать с очень большим числом опорных точек, например, точек лазерного сканирования.

#### *Интерполяция с использованием метода Сплайн (Spline)*

Метод Сплайн выполняет интерполяцию на основе построения плавных кривых. Различают методы регуляризованного (*Regularized*) сплайна и сплайна с натяжением (*Tension*). В первом методе более высокие значения, используемые для параметра *Вес (Weight)*, приводят к построению более сглаженных поверхностей (значения параметра *Вес* обычно устанавливаются в диапазоне от 0 до 0,5, а значение, используемое по умолчанию, 0,1).

Метод Сплайн с натяжением формирует «жесткую» поверхность в соответствии с характером моделируемого явления и более строго ограниченную диапазоном данных в опорных точках (подобно построению плоскостей или подбору резинового листа). Метод широко используется в программах интерполяции поверхностей общего назначения и сглаживания изолиний при их рисовке.

#### *Метод интерполяции Тренд (Trend)*

Создаваемые этим методом поверхности хороши для отражения крупномасштабных структур в данных; интерполированная поверхность редко проходит через исходные опорные точки. Поверхность аппроксимируется многочленом, и структура выходных данных имеет вид алгебраической функции, которую можно использовать для расчета значений в точках растра или в любой точке поверхности. Линейное уравнение, например,  $z = a + bx + cy$  описывает наклонную плоскую поверхность, а квадратичное  $z = a + bx + cy + dx^2 + exy + fy^2$  – простой холм или долину. Вообще говоря, любое сечение поверхности  $m$ -го порядка имеет не более  $(m-1)$  чередующихся максимумов и минимумов. Например,

кубическая поверхность может иметь в любом сечении один максимум и один минимум. Возможны значительные краевые эффекты, поскольку полиномиальная модель дает выпуклую поверхность.

Интерполяция по методам *Слайн* и *Тренд* производит сглаживание математической поверхности за счет точек, которые уменьшают острые изгибы, полезна для моделирования поверхностей, значения которых изменяются очень плавно, например, высоты уровня грунтовых вод.

#### *Метод интерполяции Кригинг (kriging)*

Широкое распространение для интерполяции физических поверхностей, особенно при редких или разбросанных данных, получили методы *геостатистической интерполяции*, известные как *кригинг*, используемый в таких приложениях, как геохимия, здравоохранение и моделирование загрязнения. Он назван по имени Д. Г. Криге, южноафриканского инженера-геолога немецкого происхождения.

Применение метода базируется на том, что географические данные пространственно коррелированы, т. е. точки, расположенные близко друг к другу, характеризуются определенной степенью пространственной корреляции, а точки, удаленные друг от друга, статистически независимы. Его основа – определение закономерностей изменения разброса значений моделируемого показателя (дисперсии) между точками в пространстве и подчеркивание существенных различий в значениях данных, используя весовые коэффициенты.

Метод позволяет оптимизировать интерполяцию путем подразделения пространственных вариаций на три компоненты: детерминированную вариацию (тренд); пространственно автокоррелированную, зависящую от соседних значений данных, но физически трудно объяснимую вариацию; некоррелированный шум.

Различают простой, ординарный и универсальный кригинг. Ординарный – наиболее общий и широко используемый из методов кригинга; он основан на предположении, что *постоянное среднее значение неизвестно*. В простом кригинге среднее значение считается известным (что редко бывает на практике). Универсальный кригинг предполагает, что существует детерминированная зависимость между исследуемым показателем и некоторым фактором (факторами) среды, и ее можно смоделировать с помощью функции – как правило, методом полиномиальной регрессии. Этот

полином вычитается из исходных значений измерений, и интерполяция производится уже по случайным ошибкам. Когда к случайным ошибкам подобрана модель, перед вычислениями полином добавляется обратно к предполагаемым значениям, чтобы получился осмысленный результат.

Рассмотрим метод на примере одномерной функции  $z(x)$ . Значения  $z$  в точке  $x$  может быть представлено как

$$z(x) = m(x) + e'(x) + e'',$$

где  $m(x)$ ,  $e'(x)$ ,  $e''$  – три описанные компоненты.

В простом кригинге тренд  $m(x)$  предполагается постоянным и рассматривается как константа, эквивалентная среднему значению данных. При универсальном кригинге  $m(x)$  обычно моделируется полиномом первой или второй степени.

В обоих случаях необходимо определить компоненту  $e'(x)$ , которая отражает закономерность возрастания дисперсии значений  $z$ , представленных неупорядоченной выборкой точек, в зависимости от расстояния. Определяют ее экспериментально, представляя результаты в виде графика – вариограммы (или полувариограммы), на котором представлена зависимость между вариацией и расстоянием. Вариограмму можно изучать для определения зависимости между известными и опорными точками как функции расстояния. Один из способов может быть таким. Сначала весь диапазон расстояний разбивается на ряд равных интервалов, например, на 10, от 0 до максимального значения расстояния между точками на изучаемой территории; тем самым задается размер интервала  $h$ . Для каждой пары точек вычисляется расстояние и квадрат разности значений  $z$ . Эта пара точек включается в соответствующий интервал расстояний, а для каждого из них накапливается общая дисперсия. После обработки всех пар точек (или выборки пар при большом массиве данных) для каждого интервала расстояний подсчитывается дисперсия

$$d(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n (z(x_i) - z(x_i + h))^2,$$

характеризующая различие между высотами двух любых точек, находящихся на расстоянии  $h$  друг от друга. Эта величина отмечается на графике в средней точке соответствующего интервала.

Положительное значение  $d(h)$  при  $h=0$ , известное как «эффект самородка», служит оценкой  $e''$ . Если эффект самородка отличен от нуля, это означает, что повторные измерения в одной и той же точке дали разные результаты.

Полученные значения используют для расчета весовых коэффициентов для их интерполяции и построения интерполирующей кривой. Интерполированное значение – это сумма взвешенных значений некоторого числа известных точек, причем веса зависят от расстояний между ними и точкой, для которой производится интерполяция. Весовые коэффициенты выбираются таким образом, чтобы минимизировать вариации оцениваемых показателей.

Метод кригинга гибок и эффективен для многих произвольных наборов данных, даже если не делаются предположения, что вариограмма имеет асимптоту (вариограмма линейна).

#### *Интерполяция по горизонталям (Topo to Raster)*

Метод является специализированным инструментом, который предназначен для создания гидрологически корректных растровых поверхностей на основании векторных данных компонентов рельефа, таких как отметки высот, горизонтали, линии водных потоков, полигоны озер, точки локальных понижений и полигонов границ изучаемых областей. Интерполированная поверхность позволяет создавать связную дренажную структуру и корректно представлять хребты и водотоки.

### **Применение пространственных моделей**

Пространственные модели поверхности, в том числе ЦМР, нельзя рассматривать в отрыве от их использования для географического анализа и картографирования. Они применяются: для определения характеристик местности, таких как высота в любой точке, угол наклона поверхности, экспозиция склона; выявления на территории водосборных бассейнов, водоразделов, сетей поверхностного стока и русел, вершин, впадин и других элементов рельефа; для моделирования гидрологических процессов, устойчивости почв, распространения потока солнечной энергии или лесных пожаров. ЦМР применяют также для построения изолинейных карт и трехмерных изображений поверхности, показа рельефа методом аналитической отмывки или в виде гипсометрических слоев. Рассмотрим некоторые простые алгоритмы применения ЦМР для создания карт.

При построении высокоточных топографических карт и планов для определения высоты некоторой произвольно заданной точки необходимо прежде всего знать, достаточно ли разрешение модели; если да, то совпадает ли заданная точка с точкой регулярной сети (растра) или нет. Если да, то значение высоты можно получить прямо из ЦМР:  $z = z_{ij}$ , где  $z_{ij}$  – значение в  $i$  – ой строке и  $j$  – ом столбце растра. Во всех остальных случаях необходима дополнительная интерполяция, так как, например, использование высоты ближайшей точки растра может привести к резкому перепаду высот на середине расстояния между точками.

Операции по исследованию цифровой модели для *определения морфометрических характеристик рельефа* выполняют также на основе просмотра ЦМР скользящим окном. Порядок просмотра окна в алгоритмах задают одним из двух вариантов:

- рассматривают только 4 возможных направления (вверх, вниз, вправо, влево);
- рассматривают 8 возможных направлений (добавляются направления по диагоналям квадратной ячейки).

В обоих случаях направления просмотра нумеруют по часовой стрелке от 1 до 4 (8), начиная с направления вверх, и кодируют степенями двойки: 0, 1, 2, 4, 8, 16, 32, 128.

#### *Построение карты углов наклона рельефа*

Углом наклона рельефа местности к горизонтальной плоскости (крутизной склона) называется угол, образуемый направлением ската с горизонтальной плоскостью, и определяется математически как линейный угол двугранного угла между касательной к поверхности рельефа плоскостью и горизонтальной плоскостью. Для вычисления углов наклона методом скользящего окна используют метод конечных разностей для оценки максимума перепада высот (градиента). При анализе окна из четырех точек для определения градиента  $z$  в направлении оси  $y$  в точке  $i, j$  используют уравнение

$$\Delta z / \Delta x = \max[(z_{i+1,j} - z_{i-1,j}) / 2] / \Delta x,$$

тангенс угла наклона поверхности находят из уравнения

$$\operatorname{tg} \alpha = [(\Delta z / \Delta x)^2 + (\Delta z / \Delta y)^2]^{\frac{1}{2}},$$

а экспозиции

$$\operatorname{tg} \operatorname{Exp} = - (\Delta z / \Delta y) / (\Delta z / \Delta x).$$

Аналогично выводятся уравнения для определения значений плановой  $K_{pl}$  и профильной кривизны  $K_{пр}$ .

Стандартные программы определения характеристик рельефа по растровой ЦМР вычисляют их значения для каждого пиксела и строят растровые изображения, которые плохо представляют морфологию реальной поверхности. Для отображения на картах значения этих показателей необходимо генерализовать по областям в соответствии с типами рельефа. Для этого обычно применяют метод пороговой классификации, обобщая показатели в полигоны по заранее заданным диапазонам величин: в пределах каждой области углы наклона соответствуют одному диапазону (например,  $10-15^\circ$ ), а все экспозиции показывают, как азимуты направления (например,  $0^\circ$  – север,  $45^\circ$  – северо-восток,  $90^\circ$  – восток и т. д.).

Уклон может быть измерен в градусах или как процент уклона, который численно равен тангенсу угла наклона, умноженному на 100%. Таким образом, уклон поверхности с углом наклона  $45^\circ$  равен 1 или 100%. Уклон, измеренный в градусах, ограничен  $90^\circ$ , а уклон при увеличении угла в пределах от 0 до  $90^\circ$  стремится к бесконечности.

#### *Построение линий тока и границ водосборных бассейнов*

Главными компонентами водосборного бассейна являются его рельеф и пространственная структура сети поверхностного стока. Их автоматизированное определение представляет одну из сфер применения ЦМР. Напомним, что линией тока называется линия, направление которой в каждой точке перпендикулярно горизонтали (линии уровня) рельефа рассматриваемой поверхности.

Если представить, что каждое значение высоты в ЦМР находится в центре ячейки растра, то направление стока воды из нее будет определяться высотами окружающих ее ячеек. При этом считается, что вода из каждой ячейки стекает в ту близлежащую ячейку, высота которой меньше других. Ячейка кодируется числом, соответствующим коду направления стока из нее. Если высоты всех близлежащих ячеек не меньше данной, она представляет собой «впадину» и получает код «0». Таким образом получают файл, по размеру растра совпадающий с ЦМР, со значениями 0–4 (8).

Чтобы выделить водосборный бассейн, нужно начать с указанной ячейки, имеющей код 0, и отметить все соседние ячейки, имеющие сток в нее, затем все ячейки, имеющие сток в отмеченные,

и так до тех пор, пока не будут определены границы бассейна. Тогда водосборный бассейн – это полигон, образованный отмеченными ячейками. Качественно изобразить сеть линий стока растровыми средствами довольно сложно, поскольку нужно указывать направление движения воды (например, стрелками). Ноль на конце стрелки означал бы, что этот водоток уходит за пределы области.

Вторая сложность связана с тем, что реальные водотоки состоят из слияний, русел и источников; они иногда разветвляются. Модели сети стока, построенные на основе ЦМР, отличаются от реальных: углы схождения линий при моделировании определяются геометрической формой ячеек (растром), а в реальной ситуации они зависят от строения поверхности и эрозионных процессов. В районах с равномерным уклоном при использовании данного метода получается большое количество параллельных водотоков; реальные водотоки отклоняются вследствие неровностей поверхности, образующиеся слияния уменьшают густоту водотоков в районах с практически монотонными склонами. На многих типах реальных поверхностей водотоки врезаны, их ширина слишком мала, и они не отображаются на ЦМР.

Данные ЦМР изобилуют одинаковыми значениями высот, поскольку вертикальное разрешение невелико и обычны погрешности данных. Выходом из такой ситуации может служить увеличение размера ячейки растра (обобщение ЦМР), приводящее к уменьшению масштаба изображения территории. Другой путь – совмещение данных ЦМР с цифровой гидрологической картой, на которой точки гидросети закодированы нулем. По описанному выше алгоритму просматривают совмещенную цифровую карту, начиная с первой встретившейся ячейки растра, принадлежащей гидросети.

### *Использование трехмерных моделей (3D-моделей) для анализа видимости*

Форма земной поверхности существенно влияет на то, какие части поверхности может видеть человек, стоящий в заданной точке. Что является видимым из данного местоположения – важный элемент при определении стоимости объектов недвижимости, при определении местоположения коммуникационных башен или военных частей. Анализ видимости может быть использован в тех случаях, когда нужно знать, какие участки можно увидеть из одной

или нескольких точек, или линий наблюдения. Напротив, может понадобиться узнать, насколько хорошо видны отдельные точки или линии.

Линия видимости – это линия между двумя точками, которая показывает части поверхности вдоль линии, которые видимы или скрыты для наблюдателя. Создание линии видимости позволяет определить, видима ли заданная точка из другой точки. Если земная поверхность скрывает целевую точку, можно видеть, где находится препятствие, а также оценить, что еще можно или нельзя увидеть вдоль линии видимости. Видимые и скрытые сегменты обычно показывают разным цветом. При создании линии видимости сначала задают смещение вверх от наблюдателя и целевых точек над поверхностью (наблюдатель всегда должен располагаться несколько выше поверхности), затем после щелчка на точках наблюдения и цели между ними появляется линия.

Зона обзора определяет ячейки входного растра, которые можно видеть из одной или нескольких точек или линий наблюдения. Каждой ячейке в выходном растре присваивается значение, которое указывает на то, из скольких точек наблюдения можно увидеть данное местоположение. Если есть только одна точка наблюдения, каждой ячейке, которую можно увидеть из точки наблюдения, присваивается значение, равное 1. Всем ячейкам, которые нельзя увидеть из точки наблюдения, присваивается нулевое значение.

Класс объектов «Точки наблюдения» могут содержать точки или линии. В качестве точек наблюдения можно использовать узлы и вершины линий.

## **5.2. Задание практикума**

### ***Цель***

Задание посвящено изучению методов интерполяции данных, построения, анализа и визуализации цифровых моделей реальных и абстрактных геополей. Вторым элементом задания является изучение технологии геокодирования данных. Цифровые модели рельефа играют важную роль в гидрологическом и геоморфологическом анализе. Одно из основных приложений ЦМР, позволивших значительно упростить анализ речных систем, – это автоматизи-

рованное построение водосборов и расчет их морфометрических характеристик. Технологии позволяют изображать построенные поверхности методом горизонталей с послышной окраской, строить производные поверхности и профили в исследовательских целях, рассчитывать различные статистики, а также создавать виртуальные трехмерные представления земной поверхности.

#### ***Необходимые знания***

Построение статистических поверхностей (геополей).

Интерполяция по данным в нерегулярно расположенных точках.

Понятие методов интерполяции: обратного взвешенных расстояний, естественного соседа, тренда, сплайнов, кригинга.

Основные инструменты геообработки *ArcToolbox*.

#### ***Ключевые слова***

Модели геополей, цифровая модель рельефа (ЦМР), углы наклона, направление тока, площадь водосбора, гидрологический анализ ЦМР, виртуальное трехмерное моделирование, драпировка ЦМР снимком.

### **5.3. Упражнения**

#### **Упражнение 15. Картографирование и анализ гидрометеорологических полей**

##### ***Задачи***

Моделирование полей – основа гидрометеорологического картографирования. Типичный рабочий процесс при создании карт температуры, давления, объема стока и прочих непрерывных явлений заключается в восстановлении поверхности на основе точечных измерений (или модельных значений).

В задании предстоит восстановить поле температуры воды в Северной Атлантике по данным дрейфующих буев ARGO; проанализировать отличия поверхностей, полученных разными методами; выбрать оптимальный метод. В заключении задания также предстоит построить профиль и оформить карту в режиме компоновки.

##### ***Исходные данные***

Данные дрейфующих буев ARGO на акваторию Северной Атлантики, границы стран мелкомасштабной картографической основы.

## **Результат**

Поверхности температуры воды за 30.01.2011, построенные следующими методами:

- обратно взвешенных расстояний (*IDW*),
- естественного соседа (*Natural Neighbor*),
- сплайнов (*Spline*),
- Тренда 1,2,3,4,5 степени (*Trend*),
- Кригинга (*Kriging*).

Сравнительный анализ поверхностей, полученных разными методами.

Поверхность кригинга, полученная после обработки фильтром 3x3.

Изолинии по данной поверхности с шагом 2,5 градуса.

Профиль температуры по меридиану 38° з. д.

Карта с названием, легендой, масштабом и профилем.

## **Оформление базовых слоев**

1. Скопируйте каталог *Ex15* в свой каталог.
2. Подключитесь в окне каталога к папке *Ex15*. Убедитесь, что в ней находится база геоданных *Argo.gdb*.
3. Используя контекстное меню базы данных, назначьте ее базой данных по умолчанию.
4. Добавьте на карту следующие слои *ArgoBuoys* и *Countries* и оформите их следующим образом:

ArgoBuoys	Черные кружки диаметром 3 пункта
Countries	Заливка серый 30%, обводка серый 60%

5. Включите подписи слоя *ArgoBuoys* по полю *Temp*, установите размер шрифта равным 7 пунктам.
6. Сохраните документ карты в свою папку под названием *Ex15\_Interpolation.mxd*.

## **Оценка минимально необходимого разрешения растра**

Для оценки минимально необходимого разрешения растра следует вычислить для массива исходных точек среднее расстояние до ближайшего соседа (*Nearest Neighbor Distance, NND*), которое дает оценку пространственной частоты. Согласно теореме Котель-

никова, потерь данных можно избежать, если частота дискретизации будет вдвое больше максимальной пространственной частоты. Такая частота дискретизации именуется *частотой Найквиста*. Интерпретируя это утверждение в терминах растрового анализа, можно сказать, что *разрешение растра R должно быть по крайней мере в два раза мельче среднего расстояния до ближайшего соседа NND*:

$$R \leq 0,5\mu(NND).$$

1. Запустите инструмент геообработки *Analysis Tools – Proximity – Near* и задайте следующие его параметры:

Input Features	ArgoBuoys
Near Features	ArgoBuoys

2. Нажмите *ОК*.
3. После выполнения работ инструмента откройте атрибутивную таблицу слоя *ArgoBuoys* и в контекстном меню заголовка поля *Near\_DIST* выберите команду *Statistics*, чтобы открыть диалог со статистикой поля.
4. Найдите в диалоговом окне строку *Mean* (среднее значение) и вычислите на основе его рекомендуемое разрешение растра, используя вышеприведенную формулу. Округлите значение в меньшую сторону до ближайшего числа, кратного 0,5 градуса. Если все сделали правильно, должно получиться разрешение 2,5 градуса.

### Построение поверхностей

Используя инструменты геообработки, постройте растровые поверхности нижеуказанными методами:

Input Point Features	ArgoBuoys
Z value field	Temp
Output Cell Size	2,5

Для всех инструментов будут общими следующие параметры: Методы интерполяции находятся в *ArcToolbox* в группе *Spatial Analyst Tools – Interpolation*.

Название метода	Инструмент геообработки	Название выходного растра
Обратно взвешенных расстояний	IDW	<Ваша папка>\ Ex15\Argo.gdb\ Temp_IDW
Естественного соседа	Natural Neighbor	<Ваша папка>\ Ex15\Argo.gdb\Temp_Natural
Сплайнов	Spline	<Ваша папка>\ Ex15\Argo.gdb\ Temp_Spline
Тренда 1,2,3,4,5 степени	Trend	<Ваша папка>\ Ex15\Argo.gdb\ Temp_Trend1, Temp_Trend2, Temp_Trend3, Temp_Trend4, Temp_Trend5 Для указания степени полинома используйте параметр <i>Polynomial Order</i>
Кригинга	Kriging	Temp_Kriging

Если все выполнено верно, в базе геоданных и таблице содержания должно появиться 9 новых растров.

### Настройка отображения поверхностей

Чтобы поверхности можно было сравнивать, необходимо их визуализировать в единой цветовой шкале и с одинаковым шагом температуры. Необходимо выбрать сине-бело-красную шкалу с интервалом 2,5 градуса.

Рассмотрим последовательность действий на примере растра, полученного методом кригинга.

1. Убедитесь, что в свойствах слоя *Temp\_Kriging* включен режим отображения *Classified* и нажмите кнопку *Classify*.
2. В появившемся диалоге выберите метод классификации *Defined* (заданный интервал), установите интервал равным 2,5 метра и нажмите *OK*.
3. Выберите сине-бело-красную шкалу для отображения температуры.
4. Нажмите *OK*. На экране появится картографическое изображение.
5. Повторите эту операцию для всех остальных растров.
6. Поочередно включая только нужный растр (снимите галочки с остальных), сделайте снимки экрана и сохраните в папке отчета.

## Сглаживание поверхности

Мелкие неровности поверхности, обусловленные методом интерполяции, обычно устраняют с помощью сглаживания. Для этого часто используется фильтрация методом скользящего окна.

1. Отключите все растры, кроме построенного методом кригинга.
2. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Neighborhood – Focal Statistics* и настройте его параметры следующим образом:

Input Raster	Temp_Kriging
Output Raster	<Ваша папка>\ Ex15\Argo.gdb\Temp_Kriging_3x3

Остальные параметры (включая размер окна 3x3) оставьте по умолчанию. Нажмите *OK*. После выполнения процедуры сглаженный растр будет добавлен в таблицу содержания.

Обратите внимание на размер ячейки.

3. Визуализируйте сглаженный растр аналогично созданным ранее растрам. Для этого потребуется сменить способ его отображения на *Classified*.
4. Нажмите *OK*. Изображение примет цветной, но по-прежнему «пиксельный» вид.
5. Дважды щелкните на слое *Temp\_Kriging\_3x3*, перейдите на вкладку *Display* и установите режим передискретизации слоя *Cubic Convolution* (кубическая свертка).
6. Нажмите *OK*. Изображение примет более привычный «гладкий» вид.

## Построение линии профиля

Распространенная задача при анализе полей температуры, солености, давления – построение профилей или разрезов. Вам предлагается построить профиль температуры по меридиану 38° з. д.

1. Создайте в базе геоданных *Argo* линейный класс пространственных объектов с названием *Profile* и системой координат *WGS1984 (Geographic Coordinate Systems – World)*.
2. Добавьте этот слой на карту и смените его символ на линию черного цвета.
3. Включите режим редактирования.

4. Выберите в окне *Create Features* слой *Profiles* и щелкните правой кнопкой мыши на карте. В появившемся диалоге выберите команду *Absolute X,Y* чтобы задать координаты первой точки профиля.
5. В появившемся мини-диалоге введите значения для долготы и широты соответственно –38 и 0 и нажмите *Enter*.
6. Повторите эту операцию для ввода конечной точки профиля (координаты –38 и 63, соответственно)
7. Нажмите F2, чтобы завершить создание линии.
8. Завершите сеанс редактирования, выбрав на панели *Editor* команду *Editor – Stop Editing*.

### Интерполяция линии профиля

Для построения профиля вдоль созданной линии необходимо снять с нее значения раstra.

1. Запустите инструмент *3D Analyst Tools – Functional Surface – Interpolate Shape* и заполните его параметры следующим образом:

Input Surface	Temp Kriging_3x3
Input Feature Class	Profile
Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex15\Argo.gdb\Profile_Temp

Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите *OK*.

2. Для корректного отображения широты конвертируйте линию в точки. Для этого запустите инструмент *Data Management Tools – Features – Feature Vertices to Points*. Назовите выходной класс *Profile\_Temp\_Pts*.
3. Добавьте к точкам значения широты, долготы и температуры. Для этого воспользуйтесь инструментом *Data Management Tools – Features – Add XY Coordinates*.
4. Откройте атрибутивную таблицу получившегося слоя.
5. Выберите команду меню *View – Graphs – Create Graph*.
6. Настройте параметры графика следующим образом:

Graph Type	Vertical Line
Layer/Table	Profile_Temp_Pts
Y Field	POINT_Z
X Field	POINT_Y
Add to Legend	отключено

7. Нажмите *Next* и настройте отображение графика следующим образом:

Title	Профиль температуры по меридиану 38° з.д.
Axis Properties – Left	Температура, °С
Axis Properties – Right	Ширина, °

8. Нажмите *Finish*. Построенный профиль будет добавлен в окно приложения.

### Оформление карты

1. Переключитесь в режим компоновки.
2. Установите масштаб равным 1:70 000 000.
3. Щелкните на профиле правой кнопкой мыши и выберите команду *Add To Layout*, чтобы добавить его на страницу компоновки.
4. Оформите карту, добавив на нее название, легенду и численный масштаб.

Для установки нулевого расстояния между плашками цветовой шкалы дважды щелкните на легенде, перейдите на вкладку *Layout* и установите параметр *Vertical Patch Gap* равным 0 пунктов.

5. Экпортируйте изображение в файл формата *png* и вставьте его в отчет.
6. Сохраните документ карты.

### Отчет о выполнении упражнения

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Упражнение 16. Гидрологический анализ цифровой модели рельефа

### Задачи

Цифровые модели рельефа играют важную роль в гидрологическом и геоморфологическом анализе. Одно из основных приложений ЦМР, позволивших значительно упростить анализ речных систем, – это автоматизированное построение водосборов и расчет их морфометрических характеристик.

В задании предстоит автоматически выделить тальвеги и водосборы по цифровой модели рельефа. Тальвеги будут классици-

цированы согласно их порядкам, а для каждого бассейна определена средняя высота. Задание завершается оформлением карты в режиме компоновки.

### **Исходные данные**

Цифровая модель рельефа по данным топографической карты масштаба 1:200 000.

### **Результат**

Карта водотоков и их водосборных бассейнов, построенная по ЦМР с указанием средней высоты каждого бассейна.

### **Оформление данных**

1. Скопируйте каталог *Ex16* в свой каталог.
2. Подключитесь в окне *Catalog* к папке *Ex16*. Убедитесь, что в ней находится база геоданных *Ex16.gdb*.
3. Используя контекстное меню базы данных, назначьте ее базой данных по умолчанию.
4. Добавьте на карту слой *dem*. Это цифровая модель рельефа в растровом формате.
5. Измените оформление слоя следующим образом:

Способ отображения	Classified
Интервал	С равным шагом (Defined Interval), сечение 20 м.
Цветовая шкала	Scale_termo2

6. Измените красный цвет шкалы на оранжевый. Для этого в контекстном меню цветовой шкалы выберите команду *Properties...* В появившемся диалоге дважды щелкните на бело-красном градиенте и замените красный цвет на оранжевый *Electron Gold*.
7. Завершите настройку шкалы, нажав *OK* и еще раз *OK*.
8. Измените сортировку значений на вкладке *Symbology* таким образом, чтобы вверху оказались самые большие высоты. Нажмите *OK*, чтобы закрыть диалог настройки слоя.
9. Измените название слоя *dem* на «Послойная окраска».
10. Дополнительно к послойной окраске постройте горизонтали, чтобы усилить пластику рельефа. Для этого запустите инструмент геообработки *Spatial Analyst Tools – Surface – Contour* и заполните его параметры следующим образом:

Input Raster	Послойная окраска
Output Polyline Features	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\contours
Contour interval	20

11. Величина сечения рельефа указывается в параметре *Contour Interval*. Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите *OK*. Полученный слой будет добавлен на карту.
12. Переименуйте слой в «Горизонтали» и измените его оформление следующим образом:

Цвет линии	Черный
Толщина линии	0,2
Прозрачность	90%

Сохраните документ карты в папку *Ex16* под именем *Ex16\_DemAnalysis.mxd*.

### Направление тока

Растр направления тока показывает в каждой ячейке направление максимального уклона. Он необходим для построения водосборных бассейнов и прочих задач гидрологического и морфометрического анализа.

Для построения раstra направлений тока запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Direction* и заполните его параметры следующим образом:

Input Raster	Послойная окраска
Output flow direction raster	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\dir

Нажмите *OK*. Полученный слой будет добавлен на карту.

### Аккумуляция тока

Растр аккумуляции тока в каждой ячейке хранит количество ячеек, дренируемых выше по склону. Фактически это число показывает площадь водосбора для каждой ячейки. Площадь водосбора необходима для автоматического выделения водотоков (талвегов) по цифровой модели рельефа.

1. Для построения раstra аккумуляции тока запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Flow Accumulation* и заполните его параметры следующим образом:

Input Raster	dir
Output flow accumulation raster	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\acc

Нажмите *OK*. Полученный слой будет добавлен на карту.

2. Чтобы сделать отображение раstra аккумуляции тока более наглядным, откройте его свойства и на вкладке *Symbology* измените растяжку гистограммы на метод *Histogram Equalize* (Выравнивание гистограммы).

### **Выделение и классификация водотоков**

Выделение тальвегов осуществляется на основе раstra аккумуляции тока. Смысл формируемого запроса заключается в следующем: «Водотокам принадлежат те пикселы, в которых значение аккумуляции тока больше заданной величины. Остальные пикселы сделать пустыми».

1. Для реализации этого запроса используйте инструмент *Spatial Analyst – Conditional – Set Null* со следующими параметрами.

Input Conditional Raster	acc
Expression	Value < 2000
Input false raster or constant value	1
Output raster	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\str

По результатам выполнения инструмента будут выделены все водотоки, в которых значение аккумуляции тока более 2000.

2. Измените цвет полученных пикселов на белый, чтобы они были хорошо видны.

Полученные водотоки можно ранжировать по порядкам водотоков.

3. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Stream Order* и заполните его параметры следующим образом:

Input Stream Raster	str
Input Flow Direction Raster	dir
Output raster	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\strorder
Method of Stream Ordering	STRAHLER

Напомним, что при упорядочении водотоков методом Стралера номер порядка увеличивается только в том случае, когда встречаются водотоки одного порядка. Водотоки, которые не имеют притоков, имеют порядок равный 1.

Нажмите *ОК*, чтобы запустить инструмент. Растр классифицированных водотоков будет добавлен на экран. Если все выполнено верно, расцветка водотоков должна соответствовать их порядкам от 1 до 4.

### Векторизация тальвегов

Для получения векторных линий водотоков воспользуйтесь инструментом *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Stream to Feature* и заполните его параметры согласно следующей таблице:

Input Stream Raster	strorder
Input Flow Direction Raster	dir
Output Polyline Features	<Ваша папка>\ Ex16\Ex16.gdb\streams
Simplify Polylines	Да

После запуска инструмента в таблицу содержания будут добавлены векторные линии водотоков.

1. Переименуйте полученный слой в *Водотоки*.
2. Визуализируйте водотоки в соответствии с их порядками от 1 до 4. Для этого настройте отображение слоя следующим образом:

Способ отображения	Категории (Categories–Unique Values)
Поле отображения (Value Field)	grid_code (хранится порядок водотока после векторизации)
Цвет линий	Steel Blue
Толщина линий	1, 1.5, 2 и 3 пункта

3. Нажмите *ОК*, чтобы применить настройки символики.
4. Измените название поля классификации в легенде с *grid\_code* на «Порядок».
5. Отключите все слои, кроме слоев *Водотоки*, *Горизонтали* и *Послойная окраска*.
6. Сохраните документ карты.

## Выделение и разделение устьевых точек

Водосборный бассейн в рабочем процессе гидрологического анализа ЦМР строится для одной точки. Если в качестве точки выбрать устье реки, то полученный бассейн будет соответствовать бассейну всей реки. Однако если устье является точкой слияния двух водотоков, будет построен бассейн, *общий для обоих водотоков*. Проблему можно решить, немного сдвинув конечные точки водотоков выше по течению. Для этого можно использовать следующую последовательность действий:

- указать конечные точки водотоков (устья),
- построить вокруг точек небольшие буферные зоны радиусом в  $2R$ , где  $R$  – размер ячейки растра ЦМР (*разрешение ЦМР*),
- полученными зонами обрезать исходные линии водотоков, таким образом их несколько укоротив,
- получить обновленные конечные точки водотоков, которые не совпадают для каждой пары сливающихся притоков.

Приведенная последовательность действий является классическим примером интерпретации задачи в терминах инструментов ГИС-анализа.

1. Запустите инструмент *Data Management Tools – Features – Feature Vertices to Points* со следующими параметрами:

Input Features	Водотоки
Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\streams_ends
Point Type	END (конечные точки)

2. Приблизьтесь к одной из точек слияния водотоков, пока не станут видны отдельные пиксели, чтобы внимательно наблюдать за тем, что будет происходить дальше.
3. Запустите инструмент *Analysis Tools – Proximity – Buffer*, который отвечает за построение буферных зон. Заполните его параметры следующим образом:

Input Features	streams_ends
Output Feature Class	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\streams_ends_Buffer
Distance (Linear Unit)	200

В таблицу содержания будут добавлены буферные зона вокруг устьев водотоков:

4. Обрежьте водотоки посредством инструмента *Analysis Tools – Overlay – Erase*. Определите самостоятельно, какие слои следует подставить в параметры *Input Features* и *Erase Features*. Назовите выходной слой *streams\_Erase*. Отключите временно слои *Водотоки* и *streams\_ends\_Buffer*.
5. Воспользовавшись снова инструментом *Data Management Tools – Features – Feature Vertices to Points*, постройте конечные точки для обрезанных водотоков. Будьте внимательны при выборе типа точек (параметр *Point type*). Назовите выходной класс *streams\_Erase\_ends*.

Сохраните документ карты.

### Построение водосборных бассейнов

Построение водосборных бассейнов состоит из трех операций: а) привязка точек устья к растру аккумуляции тока, б) проведение границ водосборов в растровом режиме и в) векторизация бассейнов.

1. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Snap Pour Point* и заполните его параметры следующим образом:

Input raster	streams_Erase_ends
Input accumulation raster	acc
Output raster	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\pour
Snap Distance	100

Остальные параметры оставьте по умолчанию. Параметр *Snap distance* указывает радиус поиска, в пределах которого вокруг каждой заданной точки устья будет искаться ячейка с максимальной аккумуляцией тока. В данном случае он равен 100 метрам – разрешению ЦМР.

После выполнения инструмента в окрестности каждой точки появится привязанный пиксел.

2. Для построения границ водосборных бассейнов запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Hydrology – Watershed* и заполните его параметры следующим образом:

Input flow direction raster	dir
Input raster or feature pour point data	pour
Pour point field	Value
Output raster	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\wsh

Полученный растр будет добавлен на экран. При желании можно его расцветить в уникальных цветах (метод *Unique Values*), чтобы границы бассейнов хорошо читались.

3. Конвертируйте полученные бассейны в векторные полигоны. Для этого запустите инструмент *Conversion Tools – From Raster – Raster to Polygon* со следующими параметрами:

Input raster	wsh
Field	Value
Output polygon features	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\watersheds
Simplify polygons	Да

4. Переименуйте полученный слой в «Водосборные бассейны» и измените его символ полигон с тонкой красной границей *без заливки*.
5. Оставьте включенными следующие слои:
- водотоки,
  - водосборные бассейны,
  - горизонтали,
  - послойная окраска,
  - установите масштаб равным 1:400 000.

### **Расчет, привязка и визуализация статистики по водосборным бассейнам**

В пределах границ водосборных бассейнов возможно рассчитать различную статистику по данным ЦМР, например, по высотам. Статистика формируется в виде отдельной таблицы, и ее можно присоединить к исходным полигонам бассейнов для дальнейшего анализа и визуализации.

1. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Zonal – Zonal Statistics as Table* со следующими параметрами:

Input raster or feature zone data	Водосборные бассейны
Zone Field	Id
Input Value Raster	Послойная окраска
Output Table	<Ваша папка>\Ex16\Ex16.gdb\stats
Statistics Type	ALL

- Откройте полученную таблицу, чтобы ознакомиться с ее содержанием.
- Присоедините статистические данные к исходному слою инструментом *Data Management Tools – Joins – Join Field* со следующими параметрами:

Input table	Водосборные бассейны
Input join field	Id
Join table	stats
Output join field	ID
Join fields	Выделите все поля (кнопка Select All)

Нажмите *OK*, чтобы запустить соединение таблиц. После выполнения инструмента, откройте атрибутивную таблицу слоя Водосборные бассейны, чтобы убедиться, что расчетные столбцы были добавлены.

- Включите подписи слоя *Водосборные бассейны* по полю *MEAN* (средняя высота в пределах бассейна).
- Чтобы избавиться от лишних значащих цифр, откройте таблицу слоя *Водосборные бассейны* и выберите в контекстном меню заголовка столбца *MEAN* команду *Properties* (свойства поля).
- В открывшемся диалоге нажмите кнопку *Numeric...* и установите в окне *Number Format* округление до одного знака после запятой.

Если все выполнено верно, на карте должны быть подписаны средние высоты по каждому бассейну.

Сохраните документ карты.

## Итоговое оформление карты

1. Установите масштаб карты равным 1:500 000.
  2. Переключитесь в режим компоновки.
  3. Измените ориентировку листа на альбомную.
  4. Добавьте на карту численный масштаб и заголовок «*Водотоки разных порядков и их водосборные бассейны*».
  5. Добавьте легенду со следующими слоями: *Водотоки*, *Водосборные бассейны* и *Послойная окраска*.
  6. Добавьте пометку «*Для каждого бассейна указана средняя высота в метрах над уровнем моря*».
  7. Полученную карту вставьте в отчет.
- Сохраните документ карты.

## Ответы на вопросы

Ответьте на вопросы в отчетном файле. После окончания положите отчет в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Упражнение 17. Трехмерное моделирование

### Задачи

Трехмерные модели играют важную роль в географических исследованиях. Изучение рельефа и его морфометрических характеристик; моделирование полей распределения физических и химических показателей в океане, атмосфере и почвах; моделирование городской среды и транспортных коммуникаций; моделирование поверхностей небесных тел; имитация чрезвычайных ситуаций и военных действий. Это лишь краткий список тех задач, которые решаются с использованием анализа и визуализации 3D-моделей.

Задание посвящено знакомству с трехмерным ГИС-моделированием. Географическая задача, которую предстоит решить, – это определение зоны видимости в точке с учетом рельефа и физических препятствий, таких как дома и лесные массивы. Анализ зон видимости позволяет определить охват территории, доступный для визуального наблюдения.

Зона видимости ограничивается трехмерной линией небосвода (*skyline*). Чем круче угол направления между точкой наблюдателя и линией небосвода, тем меньше будет открытость небосвода по данному направлению. Общая открытость небосвода характери-

зует долю видимой части небесной полусферы. Это важный то-поклиматический параметр, накладывающий ограничение на объем поступающей прямой солнечной радиации. Как следствие – откры-тость небосвода учитывается при расчетах таяния снега, модели-ровании городского климата, оценке пригодности земель для сель-ского хозяйства.

В процессе занятия предстоит научиться работать с растровы-ми и триангуляционными моделями рельефа, управлять отображе-нием слоев в виртуальной 3D-среде, использовать снимки в каче-стве текстуры трехмерных моделей, определять зону видимости и визуализировать ее.

### **Исходные данные**

База данных ГИС «Сатино», аэрофотоснимок сверхвысокого разрешения.

### **Результат**

Трехмерная виртуальная модель Сатинского учебного полиго-на, зоны видимости и линии небосвода для двух обзорных точек.

## **Организация рабочего пространства**

1. Скопируйте данные упражнения в свой рабочий каталог *Ex17*.
2. Откройте *ArcMap* и в нем – окно *Catalog*.
3. Сохраните документ карты в свой каталог *Ex17* под именем *Ex17\_ЦМР.mxd*.
4. Создайте в домашнем каталоге *Home* – *<Ваша папка>\Ex17* новую базу геоданных *Ex17*.
5. Щелкните на *Ex17.gdb* правой кнопкой мыши и выберите пункт *Make Default Geodatabase*, чтобы назначить ее базой геоданных по умолчанию.

## **Визуализация цифровой модели рельефа**

Чтобы полноценно моделировать видимость в трехмерном про-странстве, необходимо иметь в наличии цифровую модель релье-фа, а также объекты, расположенные на поверхности.

1. Раскройте в домашнем каталоге базу геоданных *Satino.gdb* и перенесите на карту следующие слои из группы *General*:
  - *WaterPolygon* (площадная гидрография)
  - *WaterLine* (линейная гидрография)

- *Contours* (горизонтали)
  - *DEM* (цифровая модель рельефа)
2. Разместите слои именно в том порядке, в котором они указаны выше.
  3. Дважды щелкните на слое *Горизонтали*. Перейдите на вкладку *Display* и установите значение прозрачности равным 80%.
  4. Перейдите на вкладку *Symbology* и поменяйте цвет горизонталей на черный. Нажмите *OK*.
  5. Смените символ слоя *Гидрография (линии)* на ярко-голубую линию толщиной 1,5 пиксела.
  6. Смените цвет объектов слоя *Гидрография (полигоны)* на ярко-голубой.
  7. Переименуйте слой *DEM* в таблице содержания в *ЦМР*.
  8. Дважды щелкните на слое *ЦМР*, перейдите на вкладку *Symbology* и нажмите *Classify...*, чтобы сменить метод классификации.
  9. В появившемся диалоге выберите режим *Defined Interval* (заданный вручную интервал) и установите величину интервала равной 4 метрам.
  10. Нажмите *OK*, чтобы закрыть диалог классификации высот.
  11. Выберите цветовую шкалу, близкую по гамме к гипсометрической.

### **Подготовка вспомогательных цифровых моделей для учета препятствий**

При расчете зоны видимости важно учитывать, что на поверхности расположены разные объекты, в том числе здания и растительность. Чтобы учесть объект в качестве препятствия, есть два пути: представить его в виде трехмерного тела, либо внедрить в качестве неровности в цифровую модель рельефа. Для растительности предлагается воспользоваться вторым вариантом. Для чего следует преобразовать слой растительности в растр, каждый пиксел которого хранит значение высоты растительности. Далее прибавить полученный растр к растру ЦМР; там где леса нет, высота ЦМР сохранится; на залесенных участках к ней прибавится высота растительного покрова.

1. Найдите слой *VegTypes* в базе данных *Satino.gdb* и добавьте его на карту.

2. Дважды щелкните на слое *Растительность* и перейдите на вкладку *Symbology*.
3. Выберите тип отображения *Quantities–Graduated Colors*. В качестве поля отображения укажите поле *Высота*. Выберите шкалу от светло-зеленого к темно-зеленому.
4. Нажмите *OK*.
5. Откройте *ArcToolbox* и запустите инструмент *Conversion Tools – To Raster – Polygon to Raster*.
6. Выберите в качестве входных данных *Input Features* слой *Растительность*.
7. В списке *Field* выберите поле *Height* – значение, хранящееся в нем, будет присвоено каждой ячейке раstra.
8. Установите параметр *Cell size* равным 2,5 метра. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
9. Нажмите *OK*, чтобы запустить выполнение инструмента.
10. Полученный слой переименуйте в *Высота растительности*.
11. Запустите инструмент *Spatial Analyst Tools – Math – Plus*, осуществляющий сложение растров.
12. Выберите в качестве первого раstra *ЦМР*, в качестве второго – *Высота растительности*.
13. Назовите выходной класс *DEM\_Veg*.
14. Нажмите *OK*.
15. После того, как полученный слой добавится на карту, назовите его *ЦМР+*.
16. Перенесите слой *ЦМР+* под гидрографию. Обратите внимание на резкие перепады яркости изображения, обусловленные внедрением объектов растительности.

## **Преобразование растровых моделей в триангуляционные**

До этого момента использовались растровые модели, которые удобны для вычислений. Их также можно использовать и в трехмерной среде. Однако, чтобы обеспечить максимальную производительность и качество визуализации, растровые модели желательнее преобразовать в триангуляционные, поскольку именно на них основаны методы трехмерной визуализации.

1. Запустите инструмент геообработки *3D Analyst Tools – Conversion – From Raster – Raster to TIN*.
2. В качестве *Input Raster* выберите ЦМР.
3. В поле *Output TIN* назовите выходной слой *tin*.
4. Параметр допуска по высоте *Z Tolerance* установите равным 0,25 метров.
 

*Параметр Z Tolerance управляет чувствительностью триангуляционной модели к неровностям поверхности. Если величина неровности больше, чем указанный порог, она будет выражена в виде набора треугольников. В нашем случае сечение исходных горизонталей было 2 метра, а вспомогательных горизонталей – 1 м. Точность положения горизонталей – 1/4 сечения. Следовательно, значение порога, равное 0,25 метра, позволит сохранить все нюансы поверхности.*
5. Максимальное количество точек *Maximum Number Of Points* увеличьте до 3 000 000 (три миллиона). Это значение позволит сохранить оптимальное количество точек.
6. Множитель по высоте *Z factor* оставьте равным 1.
7. Нажмите *ОК*, чтобы запустить преобразование.
8. Повторите процедуру преобразования для слоя ЦМР+. В диалоге инструмента назовите выходной слой *tin+*.
9. Полученный слой *tin+* поместите в таблице содержания так, чтобы он был под слоями гидрографии. Все слои, кроме *tin+* и гидрографии отключите.
10. Дважды щелкните на слое *tin+* и перейдите на вкладку *Symbology*.
11. Выберите в списке слева метод отображения *Edge Types* – он отвечает за показ ребер триангуляции.
12. Щелкните внизу на кнопку *Add All Values*, чтобы добавить к отображению все типы ребер.
13. Исправьте цвет стандартного ребра *Regular Edge* на черный и нажмите *ОК*.
14. Приблизьтесь к лесному массиву в центральной части карты к северу от Протвы.

*Проанализируйте свойства триангуляционной модели. Является ли плотность треугольников и их разме-*

*ры постоянными? Обратите внимание, как сгущается сетка на участках с большой кривизной поверхности.*  
Сохраните документ карты и сверните окно.

## **Визуализация данных в трехмерной среде и знакомство с приложением ArcScene**

Несмотря на то, что анализ зон видимости можно проводить и в традиционной двумерной среде, более наглядно результат выглядит в трехмерной сцене, особенно когда есть несколько местоположений наблюдателя с разными высотами.

*Для работы в трехмерной среде в ArcGIS использует-ся приложение ArcScene. Это инструмент визуализации, анализа и редактирования трехмерных данных.*

1. Откройте приложение *Пуск – Программы – ArcGIS – ArcScene*.
2. Сохраните сразу же документ сцены в свой каталог *Ex17* под названием *Ex17\_3D.sxd*.
3. Раскройте домашнюю директорию в окне *Каталога*, щелкните правой кнопкой мыши на базе геоданных *Ex17.gdb* и выберите пункт *Make Default Geodatabase*, чтобы назначить ее базой геоданных по умолчанию, если это еще не сделано.
4. Откройте панель инструментов *Tools* и обратите внимание на то, что она несколько отличается от привычной панели инструментов в *ArcMap*. Первый слева инструмент используется для вращения сцены.
5. Добавьте на карту слой *PhotoPlan* из базы геоданных *Satino*.

***Обратите внимание на то, что снимок отображается плоским. Системе известна лишь информация о цвете каждого пиксела, но не о его высоте.***

6. Откройте свойства слоя и Перейдите на вкладку *Base Heights* (базовые высоты).
7. Установите параметр *Elevation from surfaces* в положение *Floating on a custom surface*.
8. Нажмите кнопку обзора каталогов и укажите модель *tin+* в качестве источника высот.

9. На вкладке *Symbology* в группе *Stretch* установите параметр *Type* равным *None*. Этот параметр отвечает за растяжку гистограммы, которая в случае фотоснимка не нужна.
10. Перейдите на вкладку *Display* и установите параметр *Resample during display using* равным *Cubic Convolution* (кубическая свертка). В этом режиме изображение будет всегда сглаживаться независимо от масштаба сцены.
11. Перейдите на вкладку *Rendering* поставьте галочку *Shade areal features relative to the scene's light position*. В этом режиме снимок на снимок будет накладываться тень в соответствии с параметрами освещения сцены.
12. На той же вкладке в группе настроек *Optimize* переместите ползунок *Quality enhancement for raster images* в крайнее правое положение, для того чтобы снимок отображался в максимальном качестве.
13. Нажмите *OK* в настройках слоя. Вам придется подождать некоторое время, пока снимок драпируется на поверхность модели.
14. Добавьте на карту слои *WaterLine* и *WaterPolygon* из базы геоданных *Satino* и переместите их наверх таблицы содержания.
15. Откройте свойства слоя *Гидрография (полигоны)* двойным щелчком.
16. Перейдите на вкладку *Symbology* и смените цвет заливки на ярко-голубой, и уберите обводку (поставьте *No Color*).
17. Перейдите на вкладку *Display* и установите прозрачность слоя (*Transparency*) равной 30%.
18. Перейдите на вкладку *Base Heights* и установите параметр *Elevation from surfaces* в положение *Floating on a custom surface*. Нажмите кнопку обзора каталогов и укажите в качестве источника модель *tin*.
19. Нажмите *OK* в свойствах слоя.
20. Настройте аналогичным образом слой *Гидрография (линии)*, сменив цвет линии на голубой и включив опцию *Floating on a custom surface*.

Полученная сцена имеет один недостаток: необходимо увеличить масштаб по высоте, чтобы изображение стало более наглядным.

21. Дважды щелкните в таблице содержания на заголовке *Scene Layers* и установите параметр *Vertical Exxageration* равным 3. Нажмите *OK*.

**Что изменилось в сцене после установки параметра *Vertical Exxageration*? Как он влияет на отображение слоев?**

### **Визуализация трехмерных объектов: геодезические пункты и здания**

В сцену необходимо добавить здания, которые играют роль дополнительных препятствий и геодезические пункты, с которых производятся наблюдения. До этого момента использовалась функция драпировки объектов на поверхность. Здания и геодезические пункты, напротив, хранятся в базе данных как трехмерные объекты.

1. Добавьте на карту слой *Geopoints\_3D* из базы данных *Satino*.
2. Дважды щелкните на слое *Геодезические пункты 3D* в таблице содержания и на вкладке *Symbolology* щелкните на кнопку с изображением символа.
3. В открывшемся диалоге нажмите кнопку *Style References*, чтобы подгрузить дополнительные символы.
4. Отметьте в списке набор символов *3D Industrial* и нажмите *OK*.
5. Найдите в таблице символ *WatchTower 1*, выберите его и установите размер 40 пикселей.
6. Нажмите *OK*, чтобы завершить настройку символа для геодезического пункта.
7. Добавьте на карту слой *Buildings\_3D* из базы данных *Satino*. Это трехмерные объекты типа *Multipatch*, у которых была заранее определена высота.
8. Приблизьтесь к участку поймы между деревнями Дедюевка и Рыжково.

### **Анализ зоны видимости наблюдательного пункта**

Зона видимости строится для определенной точки в трехмерном пространстве. В качестве наблюдательных точек удобно использовать геодезические пункты. Сначала необходимо определить

зону видимости с точки, расположенной на земле, а затем приподнять ее на несколько метров, чтобы понять, как изменится зона видимости.

1. Откройте атрибутивную таблицу слоя *Геодезические пункты 3D* и выделите строку с геодезическим пунктом *Старое русло*. Строка должна выделиться ярко-голубым цветом.
2. Запустите инструмент геообработки *3D Analyst Tools – Visibility – Skyline*, который строит линию небосвода.
3. В качестве слоя точек наблюдений *Input Observer Point Features* выберите *Геодезические пункты 3D*. Поскольку в таблице этого слоя есть выделенный объект, линия небосвода будет рассчитана только для него, а не для всех объектов.
4. В поле *Input Surface* нажмите кнопку обзора каталогов и выберите поверхность *tin+*.
5. Из списка препятствий *Input Features* выберите слой *Здания 3D*.
6. Нажмите *OK*, чтобы запустить расчеты.
7. После того, как результат будет добавлен в таблицу содержания, смените его название на *Линия небосвода (Старое русло)* и смените символ на ярко-желтую линию.
8. Запустите инструмент *3D Analyst Tools – Visibility – Skyline Barrier*, который строит трехмерную зону видимости на основе линии небосвода.
9. Выберите в качестве *Input Observer Point Features* слой *Геодезические пункты 3D*.
10. В качестве *Input Features* выберите слой *Линия небосвода (Старое русло)*.
11. Установите галочку *Closed*, чтобы сформировать боковые стенки зоны видимости.
12. Остальные параметры оставьте по умолчанию.
13. Нажмите *OK*, чтобы запустить расчеты.
14. После того, как результат добавится в таблицу содержания, переименуйте его в *Зона видимости (Старое русло)*.
15. Смените цвет слоя зоны видимости на ярко-желтый и установите прозрачность слоя равной 50%.

***Проанализируйте результат. Приблизьтесь ближе, чтобы рассмотреть полученные границы. Как ведет себя линия горизонта при встрече с препятствиями?***

Рассмотрим теперь, как изменится зона видимости, если переместиться в пункт, расположенный более высоко.

1. Выберите в таблице атрибутов слоя *Геодезические пункты 3D* строку *Дедюевка*. Строка должна выделиться ярко-голубым цветом.
2. Запустите инструмент *Skyline* еще раз для построения линии небосвода.
3. В параметр *Input Observer Point Features* подставьте слой *Геодезические пункты 3D*.
4. В поле *Input Surface* выберите поверхность *tin+* с помощью обзора каталогов.
5. Из списка препятствий *Input Features* выберите слой *Здания 3D*. Остальные параметры оставьте по умолчанию и запустите инструмент.
6. Получившийся слой переименуйте в *Линия небосвода (Дедюевка)* и смените его символ на ярко-красную линию.
7. Запустите снова инструмент *Skyline Barrier* для построения зоны видимости.
8. Выберите в качестве *Input Observer Point Features* слой *Геодезические пункты 3D*.
9. В качестве *Input Features* выберите слой *Линия небосвода (Дедюевка)*.
10. Установите галочку *Closed*, чтобы сформировать боковые стенки зоны видимости.
11. Остальные параметры оставьте по умолчанию и запустите инструмент, нажав *OK*.
12. Переименуйте получившийся слой в *Зона видимости (Дедюевка)*, смените его цвет на розовый и установите прозрачность равной 50%.
13. Отключите слои *Линия небосвода (Старое русло)* и *Зона видимости (Старое русло)*.
14. Нажмите глобус, чтобы вся сцена поместилась в окне просмотра.

***Проанализируйте, как изменилась зона видимости после выбора более высокой точки.***

Сохраните документ сцены еще раз. Положите отчетный файл в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Упражнение 18. Картографирование на основе адресных данных

### *Задачи*

Задание посвящено знакомству с геокодированием и построением непрерывных полей на основе точечных данных. Геокодирование – это определение координат объектов по их географическим текстовым описаниям, которые обычно выражены в виде адресов и/или почтовых кодов. Геокодирование связано с понятием косвенной географической привязки пространственных данных, введенным в разделе 2.

На основе точечных данных часто восстанавливают поле распределения некоторого показателя. В случае социально-экономических показателей такие поля являются абстрактными и показываются псевдоизолиниями. Несмотря на то что признак может не иметь истинно непрерывного распределения (как в этом задании – посещаемость ресторанов), показ изолиниями бывает наглядным, дает лучшее представление о дифференциации территории, чем просто значки.

### *Исходные данные*

Таблица адресов ресторанов McDonald's на территорию Манхэттена (Нью-Йорк) с данными о средней посещаемости.

Картографический сервис Esri Streets.

Сервис геокодирования NYSGIS.

### *Результат*

Геокодированные точки адресов.

Визуализация адресов значками разного диаметра в соответствии с посещаемостью.

Поле посещаемости, построенное по точечным данным.

Проект карты с элементами компоновки (легенда, масштаб).

***Внимание: для выполнения задания необходимо подключение к сети Интернет.***

### **Подключение к сервисам**

1. Добавьте на карту в качестве основы картографический сервис *Esri Streets*. Его можно выбрать, используя команду *Add Basemap* на главной панели инструментов.

2. В появившемся диалоге выберите *Streets*. Если подключение произошло корректно, появится картографическое изображение.
3. Увеличьте масштаб карты, чтобы был хорошо виден Манхэттен.
4. Подключитесь к ГИС-серверу официального портала штата Нью-Йорк. Для этого в окне каталога выберите команду *GIS Servers – Add ArcGIS Server* и в появившемся диалоге выберите *Use GIS Services* (использовать ГИС-сервисы), нажмите *Далее*.
5. В следующем диалоге в параметр *Server URL* наберите следующий адрес и нажмите *Finish* (имя пользователя и пароль вводить не надо)
 

<http://gisservices.dhSES.ny.gov/arcgis/rest/services>
6. Если соединение прошло удачно, в списке ГИС-серверов появится новое подключение к ГИС-серверу. Среди прочих сервисов должен располагаться сервис геокодирования *NYS\_Points\_Streets*.
7. Подключитесь в окне *ArcCatalog* к вашей папке *Ex18* и создайте в ней новую базу геоданных под названием *Ex18*. Назначьте ее базой данных по умолчанию.

## Геокодирование адресов

1. В окне *Catalog* раскройте таблицу *NYMcDonalds.xlsx* перетащите ее первый лист на карту.
  2. Откройте таблицу, чтобы просмотреть ее содержимое. В ней есть несколько полей, отвечающих за адрес, а также поле *Visitors*, хранящее информацию о среднем числе посетителей, обслуживаемых за один час (данные могут не соответствовать действительности).
  3. Выберите в контекстном меню таблицы опцию *Geocode Addresses*, чтобы приступить к геокодированию.
- В появившемся диалоге необходимо добавить сервис геокодирования, к которому вы осуществили подключение ранее.
4. Нажмите *Add...* и, используя навигацию по папкам, найдите сервис геокодирования *NYS\_Points\_Streets*. Выделите его и нажмите *Add*.

5. Далее нажмите *OK*.
6. В появившемся диалоге настроек геокодирования необходимо выбрать поля атрибутивной таблицы, из которых будет браться адресная информация. Заполните его следующим образом:

Street or Intersection	Address
City or Placename	City
State	State
Output Shapefile or Feature Class	<Ваша папка>\Ex18\Ex18.gdb\NYMcDonalds

Остальные параметры оставьте по умолчанию и нажмите *OK*. После выполнения геокодирования появится диалог, сообщающий процент успешно геокодированных адресов. Нажмите *Rematch*, чтобы приступить к исправлению ошибок.

Появится диалог сопоставления адресов, а на карту будет добавлены успешно геокодированные точки. Не закрывая диалог, увеличьте изображение, чтобы точки было хорошо видно.

Возникшие проблемы сопоставления адресов обусловлены тем, что для зданий на перекрестках указано сразу два адреса (*427 10TH AVE & 34TH*). Такая форма адреса не соответствует требованиям геокодера.

7. Для разрешения неоднозначности выполните следующие действия:
  - выделите первую строку в таблице. В поле *Street or Intersection* в нижней левой части окна сотрите знак *&* и все что после него. Например, строка «*427 10TH AVE & 34TH*» должна превратиться в строку «*427 10TH AVE*»;
  - нажмите *Search*. Среди полученных вариантов выберите имеющий ранг *Score* равный 100 (полное совпадение). Если таких адресов несколько, следует выбрать тот, что имеет заполненное поле *House* (дом);
  - нажмите *Match*, чтобы сопоставить адрес;
  - повторите эту последовательность действий для всех оставшихся строк.

После выполнения правок все адреса должны быть сопоставлены.

8. Нажмите *Close*, чтобы завершить геокодирование.

9. Сохраните документ карты в папку *Ex18* под названием *Ex18\_Geocoding.mxd*.

### Визуализация точек

1. Визуализируйте слой полученных точек методом значков. Выберите способ изображения *Quantities – Graduated Symbols* и задайте следующие параметры:

Поле отображения	Visitors
Классификация	С равным интервалом через 100
Размеры кружков	От 8 до 24
Цвет кружков	Голубой

2. Установите прозрачность значков на вкладке *Display* равной 50%.
3. Переименуйте слой в «*Рестораны McDonalds*», а значение подписи показателя в заголовке легенды измените на «чел/час».
4. Откройте панель инструментов *Labeling* и включите механизм *Maplex*, чтобы получить доступ к расширенным настройкам подписей.
5. Включите подписи точек по полю *Address*. Установите размер шрифта равным 7.

Чтобы полученные надписи не загромождали значки, необходимо установить значкам высокий вес при размещении подписей. Для этого:

6. Нажмите кнопку *Label Weight Ranking* на панели *Labeling*.
7. В открывшемся диалоге установите значение веса точек равным 1000.
8. Нажмите *OK*. После выполнения этих действий подписи будут размещены в стороне от значков.
9. Сохраните документ карты.

### Построение поля распределения

Наглядность представления пространственного распределения можно повысить, построив по точкам непрерывное поле и отобразив его методом послышной окраски. Восстановление поля по точечным данным делается посредством интерполяции. Методы

интерполяции расположены в группе инструментов *Spatial Analyst Tools – Interpolation*.

1. Запустите инструмент интерполяции данных *Spatial Analyst Tools – Interpolation – Natural Neighbor* (метод естественного соседа) и заполните его параметры следующим образом:

Input Point Features	Рестораны McDonalds
Z Value Field	Visitors
Output Raster	<Ваша папка>\Ex18\Ex18.gdb\Visitors
Output Cell Size	50

Метод естественного соседа осуществляет интерполяцию на основе диаграммы Вороного. Полученный растр будет добавлен на экран. Переименуйте его в «*Посещаемость*».

2. Дважды щелкните на растре, перейдите на вкладку *Symbolology* и измените параметры его отображения следующим образом:

Способ отображения	Classified
Классификация	С равным интервалом через 100
Шкала	От желтого к темно-красному

3. Перейдите на вкладку *Display* и установите параметр прозрачности *Transparency* равным 20%, чтобы сделать послоную окраску полупрозрачной. Нажмите *OK*.
4. Сохраните документ карты.

## **Оформление карты**

Переключитесь в режим компоновки и установите масштаб карты равным 1:100 000. Оформите карту легендой и масштабной линейкой, экспортируйте ее в графический файл и вставьте в отчет.

## **Отчет о выполнении упражнения**

Заполните отчетный файл и положите его в сетевую папку для проверки преподавателем.

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	3
<b>Раздел 1. Основы работы с пространственными данными</b> 5	
1.1. Базовые понятия геоинформатики .....	5
1.2. Задание практикума .....	14
1.3. Упражнения .....	15
Основы хранения и визуализации пространственных данных. 15	
Упражнение 1. Технологии работы с пространственными данными для физико-географического картографирования .....	18
Упражнение 2. Технологии работы с пространственными данными для общегеографического картографирования .....	25
Упражнение 3. Технологии работы с пространственными данными для гидрометеорологического картографирования .....	31
Упражнение 4. Технологии работы с пространственными данными для социально-экономического картографирования .....	37
<b>Раздел 2. Создание пространственных данных и проектирование БГД</b> .....	44
2.1. Технологии создания пространственных объектов и баз геоданных .....	44
2.2. Задание практикума .....	50
2.3. Упражнения .....	50
Упражнение 5. Создание базы геоданных «Туристический маршрут» .....	50

Упражнение 6. Создание базы геоданных «Гидрогеология» .....	55
Упражнение 7. Создание базы геоданных «Административное деление города» .....	62
<b>Раздел 3. Пространственный анализ и моделирование на основе векторных данных</b> .....	68
3.1. Понятие пространственного анализа .....	68
3.2. Задание практикума .....	85
3.3. Упражнения .....	86
Упражнение 8. Тематическое картографирование на основе данных атрибутивных таблиц .....	86
Упражнение 9. Анализ пространственных взаимосвязей на основе векторных данных .....	92
Упражнение 10. Применение сетевой модели данных для логистического анализа .....	101
Упражнение 11. Моделирование речной системы с использованием геометрической сети .....	107
<b>Раздел 4. Пространственный анализ и моделирование на основе растровых и регулярно-ячеистых моделей данных</b> .....	117
4.1. Технологии создания и использования растровых данных .....	117
4.2. Задание практикума .....	130
4.3. Упражнения .....	131
Упражнение 12. Анализ распределения типов подстилающей поверхности .....	131
Упражнение 13. Выбор оптимального местоположения .....	136
Упражнение 14. Анализ плотности распределения .....	145
<b>Раздел 5. Моделирование и анализ географических полей</b> .....	149
5.1. Пространственное моделирование и пространственная интерполяция .....	149

5.2. Задание практикума .....	166
5.3. Упражнения .....	167
Упражнение 15. Картографирование и анализ гидрометеорологических полей .....	167
Упражнение 16. Гидрологический анализ цифровой модели рельефа .....	173
Упражнение 17. Трехмерное моделирование .....	182
Упражнение 18. Картографирование на основе адресных данных .....	192

*Учебное издание*

*Лурье Ирина Константиновна  
Самсонов Тимофей Евгеньевич*

## **ОСНОВЫ ГЕОИНФОРМАТИКИ**

**Информатика с основами геоинформатики**

**Часть 2. Основы геоинформатики**

---

Редактор В. А. Стряпчий  
Верстка Т. Г. Левчик  
Корректор Л. С. Горюнова

Подписано в печать 12.05.2016. Формат 60х90/16. PDF.  
Усл. печ. л. 12,5.