

Министерство образования Республики Беларусь
Белорусский государственный университет
Факультет географии и геоинформатики
Кафедра почвоведения и геоинформационных систем

СОГЛАСОВАНО

Заведующий кафедрой

_____ Клебанович Н. В.

«11» января 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета

_____ Курлович Д. М.

«20» января 2021 г.

СОГЛАСОВАНО

Председатель

учебно-методической комиссии факультета

_____ Кольмакова Е. Г.

«18» января 2021 г.

ГИС-технологии

Электронный учебно-методический комплекс
для специальности:

1-31 02 01 «География (по направлениям)»

направление специальности:

1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)»

Регистрационный № 2.4.2-12/121

Составители:

Курлович Д. М., кандидат географических наук, доцент;

Жуковская Н. В., кандидат географических наук, доцент;

Ковалевская О. М., старший преподаватель

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
07.12.2020 г., протокол № 2.

Минск 2021

УДК 91:004(075.8)
Г 516

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
Протокол № 2 от 07.12.2020 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 5 от 20.01.2021 г.

С о с т а в и т е л и:

Курлович Дмитрий Мирославович, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ;

Жуковская Наталья Викторовна, кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ;

Ковалевская Ольга Михайловна, старший преподаватель кафедры почвоведения и геоинформационных систем БГУ.

Рецензенты:

кафедра физической географии УО «Белорусский государственный педагогический университет им. М. Танка» (зав. кафедрой Таранчук А. В., кандидат географических наук, доцент; доцент Андреева В.Л., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент);

Червань А. Н., ведущий научный сотрудник РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», кандидат сельскохозяйственных наук, доцент.

ГИС-технологии : электронный учебно-методический комплекс для специальности: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», направление специальности: 1-31 02 01-02 «География (научно-педагогическая деятельность)» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. почвоведения и геоинформационных систем ; сост.: Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2021. – 57 с. : ил. – Библиогр.: с. 57, библиогр. в тексте.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)». Содержание ЭУМК предполагает повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «ГИС-технологии» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение качественной подготовки высококвалифицированных специалистов.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА	5
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	7
1.1. Определение, компоненты, основные функциональные возможности, классификации географических информационных систем. Источники данных для географических информационных систем	7
1.2. Становление и развитие геоинформационных методов	10
1.3. Рынок программного геоинформационного обеспечения.....	12
1.4. Пространственные данные в геоинформационных системах	13
1.5. Растровая модель.....	14
1.6. Векторная модель.....	21
1.7. GRID-модель	24
1.8. TIN-модель.....	26
1.9. Методы векторного геоинформационного анализа	28
1.10. Методы растрового геоинформационного анализа.....	35
1.11. Трехмерное геоинформационное моделирование.....	43
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	46
Лабораторная работа 1. Изучение пространственных данных в ГИС ArcGIS.....	46
Лабораторная работа 2. Геопривязка растровых изображений	46
Лабораторная работа 3. Создание базы геоданных	46
Лабораторная работа 4. Автоматическая векторизация рельефа.....	46
Лабораторная работа 5. Создание и анализ гипсометрической GRID-модели	47
Лабораторная работа 6. Анализ расстояний с помощью GRID-моделей....	47
Лабораторная работа 7. Создание TIN-моделей и трехмерное моделирование.....	47
Лабораторная работа 8. Использование векторного ГИС-анализа при выявлении формантов ойконимов.....	47
Лабораторная работа 9. Использование векторного ГИС-анализа при поиске места для строительства станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод.....	48
Лабораторная работа 10. Растровый гидрологический ГИС-анализ.....	48
Лабораторная работа 11. Создание и компоновка карт для атласа области.....	48
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ.....	49

3.1. Перечень тестов и контрольных заданий	49
3.2. Вопросы к экзамену по дисциплине	51
3.3. Организация самостоятельной работы	53
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ.....	55
4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине для специальности.....	55
4.2. Рекомендуемая литература	57
4.3. Электронные ресурсы.....	57

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «ГИС-технологии» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательного стандарта и учебного плана по специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)». Его наличие обеспечивает стабильность качества образовательного процесса и является методической основой для обеспечения эффективной самостоятельной работы студентов.

ЭУМК по учебной дисциплине «ГИС-технологии» создан на научно-методическом и программно-техническом уровнях, соответствующих современным информационно-коммуникационным технологиям и призван обеспечить реализацию учебных целей и задач на всех этапах образовательного процесса по данной дисциплине.

Назначение – реализация требований образовательного стандарта и учебной программы, обеспечение непрерывности и полноты процесса обучения, систематизации и контроля знаний по учебной дисциплине «ГИС-технологии».

Цель ЭУМК – повышение эффективности управления образовательным процессом и самостоятельной работой студентов по освоению учебной дисциплины «ГИС-технологии» с помощью внедрения в образовательный процесс инновационных образовательных технологий, обеспечение подготовки высококвалифицированных специалистов.

Область применения – на лабораторно-практических занятиях по курсу «ГИС-технологии», в ходе самостоятельной подготовки к аудиторным занятиям, текущему и итоговому контролю знаний по разделам дисциплины, ориентация в выполнении управляемой самостоятельной работы.

Функциональные возможности ЭУМК – средство ориентации в содержании дисциплины «ГИС-технологии» и порядке изучения учебного материала, освоение теоретического и практического материала, подготовка к контролю знаний. Весь материал ЭУМК структурирован по разделам таким образом, чтобы знаниями по учебной дисциплине «ГИС-технологии» студент мог овладеть самостоятельно. ЭУМК по учебной дисциплине «Введение в ГИС» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций для теоретического изучения учебной дисциплины, на основе курса лекций ГИС-технологии: курс лекций / И. А. Красовская, Д. М. Курлович, А. Н. Галкин – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. – 52 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171853> – Дата доступа 23.12.2020.

Практический раздел ЭУМК включает методические рекомендации и варианты заданий для проведения лабораторно-практических занятий на основе пособий

Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>. – Дата доступа 23.12.2020;

ГИС-технологии : учебно-методическое пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская ; БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. почвоведения и ГИС. – Минск : БГУ, 2020. – 309 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/249198> – Дата доступа 23.12.2020.

Раздел контроля знаний ЭУМК содержит материалы к контролю знаний и к аттестации, позволяющие определить соответствие результатов учебной деятельности обучающихся требованиям образовательного стандарта и учебно-программной документации по специальности. Данный раздел включает: теоретические вопросы и практические задания к зачету, примеры тестовых заданий, перечень заданий и контрольных мероприятий управляемой самостоятельной работы.

Вспомогательный раздел ЭУМК содержит ссылки на учебную программу по учебной дисциплине «ГИС-технологии».

ЭУМК по учебной дисциплине «ГИС-технологии» предназначен для преподавателей, студентов, аспирантов, магистрантов, изучающих геоинформатику.

Дисциплина «ГИС-технологии» имеет прикладную направленность и ориентирована на формирование системы современных знаний в области геоинформационных систем и технологий. Рассматриваются общие вопросы геоинформатики, функциональные возможности географических информационных систем, модели представления пространственных данных в ГИС, операции пространственного моделирования и анализа геоданных. Курс разработан на основе ГИС ArcGIS.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1. Определение, компоненты, основные функциональные возможности, классификации географических информационных систем. Источники данных для географических информационных систем

В последние несколько десятилетий широкое распространение получил особый класс информационных систем – *географические информационные системы*. ГИС представляют собой информационные системы, обеспечивающие сбор, хранение, обработку, доступ, отображение и распространение пространственно-координированных данных.

Область ГИС очень быстро развивается и захватывает все новые и новые сферы жизни и деятельности человека. Следует отметить, что геоинформационные системы стали играть существенную роль в различных научных и прикладных сферах, в том числе и не связанных с географической наукой. Причин такого успеха ГИС несколько:

- большая эффективность решения сложных проблем средствами ГИС;
- огромное множество областей применения ГИС, так как данные системы оперируют пространственными данными, являющимися частью нашей повседневной жизни;
- доступность для массового пользователя мощных персональных компьютеров, а также сложного программного обеспечения ГИС, снабженного удобным пользовательским интерфейсом.

В последние десятилетия геоинформационные системы достигли в развитии уровня коммерциализации. В настоящее время сформировалась ГИС-индустрия, оборот которой измеряется миллиардами долларов США. В ГИС-движение вовлечены миллионы пользователей практически во всех странах мира, которые образуют ГИС-сообщество. Геоинформационные системы влияют на многие аспекты нашей жизни – образование, бизнес, производство, научную деятельность и т. д.

Любая ГИС должна содержать в себе ряд обязательных *компонентов*.

Эффективная работа современных ГИС возможна только на основе мощной компьютерной системы. *Аппаратные средства ГИС* – это отдельные компьютеры или сеть компьютеров, а также устройства ввода-вывода информации, к которым относят принтеры, плоттеры, сканеры, дигитайзеры и др.

Аппаратные средства ГИС должны обеспечивать ряд операций:

- ввод в ГИС разнородной пространственной информации, полученной из различных источников (планово-картографические материалы, аэро- и космосъемка, лидарная и сонарная съемки, системы спутникового позиционирования, геодезическая съемка, системы автоматизированного проектирования, базы данных и др.);

- хранение больших массивов пространственных данных в различных форматах их цифрового представления;
- выполнение сложных операций ГИС-анализа и моделирования;
- качественное представление данных в цифровой форме или на бумажных носителях.

Программное обеспечение ГИС включает системное программное обеспечение компьютерной системы (операционная система и др.) и программное средство ГИС, которое может быть представлено совокупностью программных продуктов, реализующих отдельные функции. Однако если базовый программный продукт не выполняет все основные функции ГИС, он рассматривается как специализированное ГИС-приложение, предназначенное для удовлетворения специфических запросов пользователей.

Как отмечалось, геоинформационные системы оперируют пространственными данными. *Геоданные* – это любые объекты, явления или процессы, локализованные в пространстве. В ГИС они состоят из двух взаимосвязанных частей:

- 1) пространственные данные, описывающие местоположение и геометрию геообъекта;
- 2) атрибутивные данные, определяющие качественные и количественные характеристики геообъекта.

Геоинформационное образование является совокупностью знаний геоинформационной науки. *Специалист по ГИС*, по мнению Консорциума университетов для географической информационной науки, должен владеть знаниями, умениями и навыками в рамках следующих блоков:

- концептуальные основы ГИС;
- организационные и институциональные аспекты;
- особенности геопространственных данных;
- аспекты проектирования ГИС;
- обработка данных;
- аналитические методы;
- геовычисления;
- картография и визуализация;
- моделирование данных;
- ГИС и общество.

Регламент ГИС определяет правила организации данных, информационной деятельности и технологии работ, а также требует использования ряда стандартов. Стандарты регламентируют определение, хранение, использование и перемещение данных между системами и приложениями. Они обеспечивают оптимальный баланс между совместным и индивидуальным использованием данных посредством определения минимальных требований для обмена ими [27].

Работа ГИС невозможна также и без *пользователей*, имеющих базовую подготовку для изучения земного пространства с помощью геоинформационных приложений.

В общем виде базовые *функциональные возможности* любой ГИС должны обеспечивать следующие подсистемы:

- 1) сбор, подготовка и ввод геоданных (формирование баз данных);
- 2) хранение, обновление и управление геоданными (организация хранения данных, обеспечение процедур их редактирования и обновления, обслуживание поступающих в систему запросов по информационному поиску);
- 3) обработка, моделирование и анализ геоданных (организация обработки данных, обеспечение процедур их преобразования, математического ГИС-моделирования и анализа);
- 4) контроль, визуализация и вывод геоданных (генерация и оформление результатов работы системы в виде карт, графических изображений, таблиц, графиков, диаграмм и т. д.).

Специфическими функциями, посредством которых ГИС выделяется в особый класс информационных систем, являются интегрирование, анализ и визуализация географической информации.

В идеологии ГИС заложена идея интегрирования. Геоинформационные системы отличаются от других информационных систем именно тем, что обладают эффективными возможностями *интегрирования разноплановой пространственной информации*, связанной с реальным земным пространством. Это означает, что любые данные могут быть совмещены в одну систему, если они имеют пространственную привязку в системе координат.

ГИС интегрирует не только данные, но и передовые информационные технологии. Методологический аппарат таких направлений, как цифровая картография, проектирование баз данных, геодезия и топография, спутниковое позиционирование, дистанционное зондирование Земли, Web-картография и др., расширяют возможности ГИС и, кроме того, определяют будущую стратегию развития отдельных направлений ГИС.

Геоинформационные системы отличаются от других информационных систем тем, что обладают эффективными возможностями *анализа и моделирования пространственных объектов, явлений и процессов*. Следует отметить, что пространственный анализ часто называют «сердцем» ГИС. Развитые ГИС имеют богатый набор средств для его выполнения. Аналитические возможности ГИС позволяют получить ответы на множество пространственных запросов, решить большое количество пространственных задач в разных предметных областях [14].

ГИС имеет мощный инструмент *визуализации информации*. Пространственная информация отображается посредством картографических изображений, диаграмм, графиков и т. д., оформленных богатым арсеналом изобразительных средств, адаптированных для удобного восприятия этих данных. Цифровые объекты карты могут быть отображены или напечатаны в любой комбинации и фактически в любом масштабе карты. Это свойство делает ГИС-проекты более гибкими по сравнению со «статичными» традиционными бумажными картами.

Географические информационные системы можно *классифицировать* по следующим признакам:

- пространственный охват;
- объект информационного моделирования;
- предметная область информационного моделирования;

- проблемная ориентация;
- функциональные возможности;
- уровень управления.

Основными *источниками данных для ГИС* являются:

- планово-картографические материалы;
- данные дистанционного зондирования Земли, полученные в результате аэро- и космосъемок, лидарной и сонарной съемок;
- геодезические измерения;
- данные систем спутникового позиционирования;
- материалы систем автоматизированного проектирования;
- базы данных текстовой и количественной информации;
- базы геоданных.

1.2. Становление и развитие геоинформационных методов

В формировании ГИС-методов можно выделить три основных этапа:

- пионерный период (1960-е гг.);
- период государственных инициатив (1970-е гг.);
- период коммерческого развития (1980-е гг. – настоящее время).

Пионерный период развивался на фоне успехов компьютерных технологий (появление электронных вычислительных машин, цифрователей, плоттеров, графических дисплеев и других периферийных устройств) при одновременном, часто независимом друг от друга, создании программных алгоритмов и процедур графического отображения информации на дисплеях и с помощью плоттеров, формальных методов пространственного анализа, программных средств управления базами данных. Возникновение и бурное развитие ГИС было обусловлено богатым опытом топографического и особенно тематического картографирования, успешными попытками автоматизировать картосоставительский процесс, а также революционными достижениями в области компьютерных технологий, информатики и компьютерной графики.

На данном этапе было предложено:

- использование сканирования для автоматизации процесса ввода геоданных;
- расчленение картографической информации на тематические слои и разработка концептуального решения о «таблицах атрибутивных данных», что позволило разделить файлы плановой (геометрической) геоинформации о местоположении объектов и файлы, включающие тематическую информацию об этих объектах;
- функции и алгоритмы оверлейных операций с полигонами, подсчет площадей и других картометрических показателей.

В этот период сформировалось понятие пространственных объектов, описываемых позиционными и непозиционными атрибутами. Оформились две альтернативные линии представления – растровые и векторные, включая топологию

ческие линейно-узловые представления. Чуть позже создана технология массового цифрования карт. Поставлены и решены задачи, образующие ядро геоинформационных технологий: наложения (оверлей) разноименных слоев, генерация буферных зон, полигонов Тиссена и иные операции манипулирования пространственными данными, включая определения принадлежности точки полигону и операции вычислительной геометрии в целом.

В период государственных инициатив, в начале 1970-х гг., началась разработка взаимодействия методов и средств геоинформатики с цифровыми методами картографирования и автоматизированной картографией. ГИС в современном их понимании развивались на базе информационно-поисковых систем, позднее приобретая функции картографических банков данных с возможностью моделирования и анализа данных. Большинство ГИС этого периода включают в свои задачи создание карт и используют картографический материал как источник данных.

Развитие информационных измерительных систем позволило в рамках данного периода получать новые виды информации для целей анализа и прогнозирования погоды (космоснимки, данные метеолокаторов и др.). Передача этих данных в ведущие вычислительные центры требовала внедрения там мощных ЭВМ, позволяющих производить качественную и оперативную обработку информации.

Период коммерческого развития наступает в 1980-е гг., когда отдельные компьютерные программные пакеты по обработке данных, подготовке текстов или карт трансформируются в единую увязанную систему, способную помочь человеку в принятии ответственных решений. В это же время создаются компьютерные локальные и глобальные сети, революционно изменившие доступ к базам данных. Персональные компьютеры в ряде организаций уже вытесняются рабочими станциями. Отмечается быстрое развитие ГИС. Разработка коммерческих программных средств ГИС, связанная в немалой степени с возможностями мини- и микроконфигураций вычислительных средств, а позже и персональных ЭВМ, существенно меняет всю геоинформационную индустрию, появление которой связывается именно с этим периодом. Создание ГИС стало основываться не на уникальных программных и аппаратных средствах собственной разработки, а на адаптации функциональных возможностей универсальных программных продуктов к анализируемым проблемам. Именно это время стало периодом создания ГИС на базе персональных компьютеров.

Одним из ярких примеров этого периода является появление наиболее популярного в мире программного обеспечения ARC/INFO в Институте изучения систем окружающей среды (ESRI, Inc.) США, к созданию которого привело соединение стандартной реляционной системы управления базами данных (INFO) с программой (ARC). На сегодня данное программное обеспечение переросло в программный комплекс ArcGIS – мощное средство для ГИС-картографирования.

1.3. Рынок программного геоинформационного обеспечения

Высокая востребованность геоинформационных технологий привела к тому, что сегодня на мировом рынке действуют десятки организаций и фирм, распространяющих программное обеспечение ГИС, необходимое для анализа и прогнозирования погоды. Можно выделить несколько классов программного обеспечения, различающихся по функциональным возможностям и технологическим этапам обработки геоинформации. Однако при этом следует различать системы, свободно распространяемые, распространяемые коммерчески, и специальные разработки, выполненные под индивидуальные проекты и не обладающие необходимой универсальностью, поддержкой развития, изданной и популярно написанной документацией и рядом других свойств, характерных для рыночного товара.

Программные средства ГИС по функциональным возможностям делятся на пять основных используемых классов.

Первый, наиболее функционально полный, класс программного обеспечения – это *инструментальные ГИС*. Они могут быть предназначены для самых разнообразных задач: для организации ввода информации (как картографической, так и атрибутивной), ее хранения (в том числе и распределенного, поддерживающего сетевую работу), отработки сложных информационных запросов, решения пространственных аналитических задач, построения производных карт и планов и, наконец, для подготовки к выводу на твердый носитель оригиналов-макетов картографической продукции. Как правило, инструментальные ГИС поддерживают работу как с растровыми, так и с векторными изображениями, имеют встроенную базу данных для цифровой основы и атрибутивной информации или поддерживают для хранения атрибутивной информации одну из распространенных баз данных (Paradox, Access, Oracle и др.). Среди инструментальных ГИС можно выделить программные продукты компании ESRI, США (*ArcView GIS, ARC/INFO Workstation, ArcGIS*), а также *AutoCAD Map* (Autodesk, США), *MapInfo Professional* (MapInfo Corporation, США), *ГИС Панорама* (Панорама, Россия), *ГеоГраф* (Центр геоинформационных исследований Института географии Российской академии наук, Россия) и др.

Второй важный класс – так называемые *ГИС-вьюеры*, т. е. программные продукты, обеспечивающие пользование созданными с помощью инструментальных ГИС базами геоданных. Как правило, ГИС-вьюеры предоставляют пользователю крайне ограниченные возможности пополнения баз данных. Во все ГИС-вьюеры включается инструментарий запросов к базам данных, выполнения операции позиционирования и зуммирования картографических изображений. Вьюеры являются составной частью средних и крупных проектов, позволяя экономить затраты на создание части рабочих мест, не наделенных правами пополнения БГД. Большинство вьюеров позволяет организовать вывод оформленного картографического планшета на твердый носитель. Наиболее распространенным вьюерным продуктом является *ArcReader* (ESRI, США). Менее распространены *VistaMap* (Intergraph, США), *WinMAP* (PROGIS, Германия) и др.

Третий класс – это *программные средства предобработки и дешифрирования ДДЗ Земли*. Сюда относятся пакеты обработки изображений, снабженные в зависимости от цены различным математическим аппаратом, позволяющим проводить операции со сканированными или записанными в цифровой форме снимками поверхности Земли. Это довольно широкий набор операций, начиная со всех видов коррекций, через географическую привязку снимков, вплоть до автоматизированного дешифрирования земель. Среди данных ГИС-продуктов следует отметить *ERDAS Imagine* (ERDAS, США), *ENVI* (ITT Visual Information Solutions, США), *PHOTOMOD* (Ракурс, Россия) и др.

Четвертый класс – *программы-векторизаторы*. Данные ГИС-пакеты специализируются на сканировании, сшивке и коррекции бумажных планово-картографических материалов с последующей векторизацией их содержимого в автоматическом или полуавтоматическом режиме. Примерами данных программных продуктов являются *Easy Trace* (Easy Trace Group, Россия), *ArcScan for ArcGIS* (ESRI, США) и др.

1.4. Пространственные данные в геоинформационных системах

Географические информационные системы выполняют (с помощью аппаратно-программных средств компьютерной системы) визуализацию, анализ и моделирование реального географического пространства, состоящего из отдельных *геообъектов* (например, здание метеостанции, поле температур, циклон, опасное метеорологическое явление и др.).

По особенностям локализации в рамках геопространства различают следующие виды геообъектов: дискретные, непрерывные и обобщенные по площади.

Дискретные геообъекты – это отдельные объекты реального земного пространства, имеющие однозначное локализованное в пространстве местоположение и четкие границы. Они могут находиться в определенной части пространства либо отсутствовать. В качестве примера таких объектов могут выступать отдельные метеостанции, гидропосты, реки, озера, города, страны и др.

Непрерывные геообъекты (поля, поверхности) распространены в рамках всего географического пространства. Такие параметры, как рельеф суши и мирового океана, температура воздуха, атмосферное давление и другие, могут быть зафиксированы в любом месте земного шара.

Геообъекты, обобщенные по площади, представляют собой математико-статистические обобщения концентраций отдельных объектов в пределах определенной территории, имеющей четко определенные границы в рамках административных районов, единиц физико- или экономико-географического районирования и т. д. Примерами таких геообъектов могут служить: густота речной сети в рамках административных районов, озерность физико-географической провинции, средняя температура воздуха по стране и др.

По геометрии географические объекты подразделяются на элементарные, составные и сложные.

Элементарный объект не имеет составных частей (например, здание гидростоя). *Составной объект* образуется группой элементарных объектов, имеющих тесную пространственную взаимосвязь (например, речная система, состоящая из главной реки и ее притоков). *Сложный объект* образуется группой объектов (элементарных или составных), имеющих логическую пространственную взаимосвязь (например, озера, входящие в определенную озерную группу).

По форме существования географические объекты подразделяются на материальные (реальные) и абстрактные (виртуальные).

Материальные географические объекты, явления и процессы могут восприниматься непосредственно с помощью органов чувств либо опосредованно с применением специальных приборов. *Абстрактные* объекты могут отсутствовать в реальности, например, геообъекты, имевшие место в прошлом, геообъекты, существование которых предполагается в будущем, воображаемые (границы, изобары, изотермы и т. п.).

Геообъекты в ГИС определяются ***единством пространственных, атрибутивных и временных характеристик***.

Пространственные характеристики геообъектов представляют собой сведения об их местоположении и геометрии. Описание местоположения нередко называют позиционным, поскольку оно определяет их в рамках географической или проекционной системы координат. Геометрия позволяет судить о форме, размерах и пространственных отношениях геообъектов, явлений, процессов в реальном земном пространстве.

Атрибутивные характеристики – это количественные и качественные данные, характеризующие геообъекты. Они хранятся в таблице атрибутов ГИС-слоя и неразрывно связаны с его пространственной составляющей.

Временные характеристики фиксируют время исследований геообъекта и показывают изменение его свойств с течением времени. Основное требование, предъявляемое в ГИС к временным данным, – их актуальность.

В ГИС геообъекты могут быть представлены следующими наиболее распространенными компьютерными ***моделями***:

- растровая;
- векторная;
- интерполяционная (GRID);
- трехмерная (TIN).

1.5. Растровая модель

Растровая модель географических данных – это способ представления географических данных в базе данных ГИС в виде равномерной ячеистой структуры, формирующей прямоугольную матрицу, в которой каждый элемент (пиксел) принимает определенное значение цвета, присущее реальному пространственному объекту или же ассоциированное с ним либо классом, в который он входит (рисунок 1).

Растровые изображения создаются в результате *цифрового фотографирования* (аэрофото- и космоснимки) или *сканирования* (бумажные планово-картографические материалы).

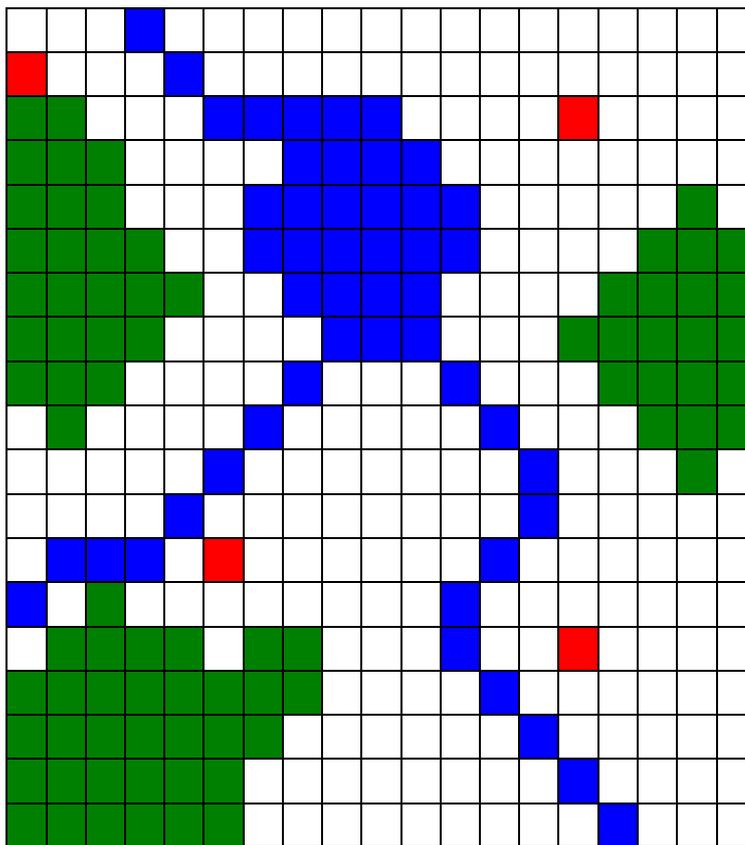


Рисунок 1 – Растровое представление точечных (показаны красным цветом), линейных (синим) и полигональных (зеленым) географических объектов

Для данной модели характерно то, что в ней территория разбита на элементы (пикселы), при этом каждый пиксел содержит значение цвета. Эта величина может, например, выражать яркость земной поверхности (для данных дистанционного зондирования) или быть признаком принадлежности к тому или иному типу (классу) объектов (для бумажных карт, переведенных в растровый формат в процессе сканирования).

При работе с растрами в ГИС необходимо различать понятия полноцветных, полутоновых и битовых изображений (рисунки 2 – 4).

К **полноцветным** относятся изображения с глубиной цвета не менее 24 бит, т. е. каждый пиксел (отдельная часть растрового изображения, имеющая свой определенный цвет) кодируется как минимум 24 битами, что дает возможность отобразить не менее 16,7 млн оттенков.

Пиксел **полутонового** изображения кодируется 8 битами (они составляют 1 байт). Цветовые характеристики данного изображения могут принимать 256 различных оттеков полутоновой шкалы (шкалы оттенков серого цвета).

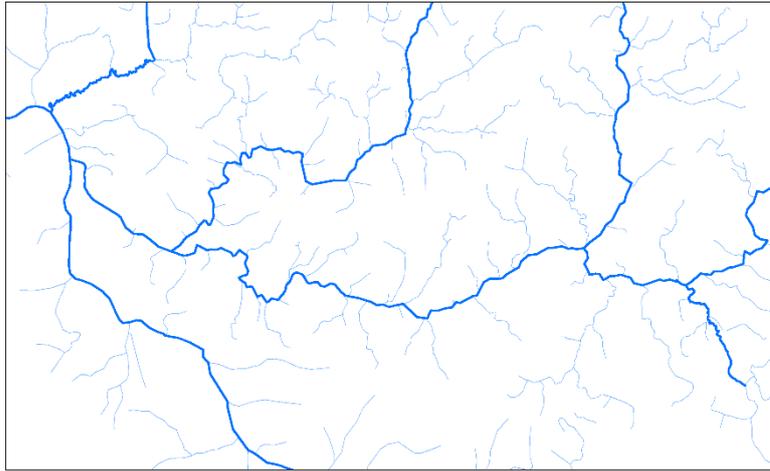


Рисунок 2 – Пример полноцветного растрового изображения



Рисунок 3 – Пример полутонового растрового изображения

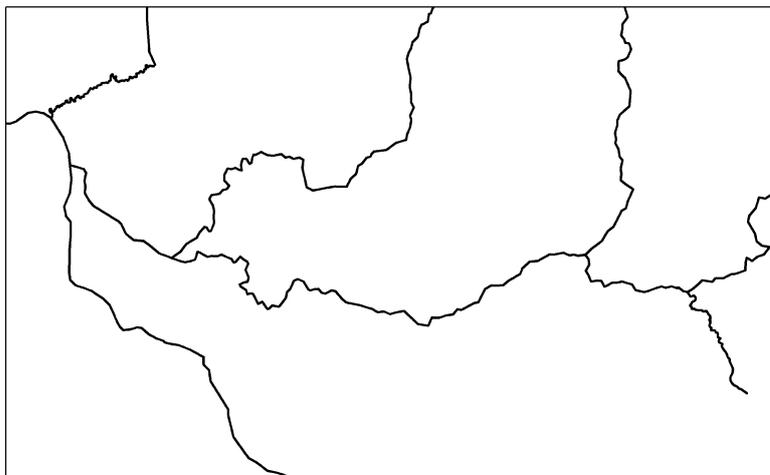


Рисунок 4 – Пример битового растрового изображения

В **битовых** изображениях на каждый пиксел отводится один бит информации. Таким образом кодируют два цвета: черный и белый.

Растровые изображения используются в ГИС для ручной, полуавтоматической и автоматической *векторизации* (т.е. перевода их из растрового в векторный формат цифрового представления пространственной информации). Это тот случай, когда информацию, отображенную на бумажных картах, после сканирования этих материалов необходимо сразу конвертировать в удобный ГИС-формат для использования в последующем ГИС-анализе. Полноцветные и полутоновые изображения пригодны только для ручной и полуавтоматической оцифровки, что достаточно трудоемко. Битовые изображения возможно векторизировать в автоматическом режиме. В данном случае программа-векторизатор распознает черный цвет и переводит его в векторный формат. Белый цвет воспринимается как фон.

Растровые модели имеют ряд *характеристик*, таких как разрешение, значение цвета пиксела, система координат и др.

Разрешение – это размер наименьшего из различимых участков растра, отображаемый одним пикселом. Более высоким разрешением обладает растр с меньшим размером пиксела. Высокое разрешение подразумевает обилие деталей, множество пикселей, минимальный их размер. Разрешение выражают в следующих единицах:

- ppi (pixel per inch) – количество пикселей на дюйм;
- dpi (dot per inch) – количество точек на дюйм;
- lpi (line per inch) – количество линий на дюйм.

Любой растр, так же как и его отдельный пиксел, имеет прямоугольную форму. Такая простая структура растровой модели позволяет достаточно легко скоординировать его в реальной *системе координат*. Для растра вводится левая система координат, т. е. за начало ее отсчета принимают центр верхнего левого пиксела. Ориентирование определяется углом поворота растра относительно выбранной системы координат, а протяженность – размером пиксела.

Для описания *цвета пиксела* используются различные математические модели, называемые *цветовыми*. В каждой цветовой модели определенный диапазон цветов представляют в виде 3D-пространства. В нем каждый цвет существует в виде набора числовых координат. Этот метод дает возможность распространять цветовую информацию растра между компьютерами, программами и периферийными устройствами.

Цветовые модели могут быть аппаратно-зависимыми (модели RGB и CMYK и HSB) и аппаратно-независимыми (модель Lab). В большинстве программ по работе с растровой графикой можно преобразовывать изображение из одной цветовой модели в другую. К основным цветовым моделям относят:

- RGB;
- CMYK;
- HSB;
- Lab.

RGB (аббревиатура английских слов red, green, blue – красный, зеленый, синий) – аддитивная цветовая модель. Выбор основных цветов обусловлен особен-

ностями физиологии восприятия цвета сетчаткой человеческого глаза. Аддитивной (англ. addition) она называется потому, что цвета получаются путем добавления к черному. Она основана на трех основных (базовых) цветах: красный (red), зеленый (green) и синий (blue). Остальные цвета получаются сочетанием базовых. Сочетание зеленого и красного дает желтый цвет, сочетание зеленого и синего – голубой, а сочетание всех трех цветов – белый. В модели RGB количество каждого компонента измеряется числом от 0 до 255, т. е. имеет 256 градаций. Цветовые компоненты иначе называются каналами.

В цвета модели CMYK окрашено все, что не светится собственным светом. Окрашенные несветящиеся объекты поглощают часть спектра белого света, их освещающего. В зависимости от того, в какой области спектра происходит поглощение, объекты окрашены в разные цвета.

Цвета, которые сами не излучают, а используют белый свет, вычитая из него определенные цвета, называются субтрактивными («вычитательными»). В этой модели основные цвета образуются путем отнимания из белого цвета основных аддитивных цветов модели RGB. CMYK – четырехканальная цветовая модель. С – это cyan (голубой), М – magenta (пурпурный), Y – yellow (желтый), а К – key color (ключевой цвет – черный).

Цветовая модель HSB является наиболее простой для понимания. Кроме того, она равно применима и для аддитивных, и для субтрактивных цветов. HSB – трехканальная модель цвета. Она получила название по первым буквам английских слов: цветовой тон (hue), насыщенность (saturation) и яркость (brightness).

Цветовой тон характеризуется положением на цветовом круге и определяется величиной угла в диапазоне от 0 до 360°.

Насыщенность – это параметр цвета, определяющий его чистоту (процент добавления к цвету белой краски). Если по краю цветового круга располагаются максимально насыщенные цвета (100 %), то остается только уменьшать их насыщенность до минимума (0 %). Цвет с уменьшением насыщенности осветляется, как будто к нему прибавляют белую краску. При значении насыщенности 0 % любой цвет становится белым.

Яркость – это параметр цвета, определяющий его затемненность (процент добавления черной краски). Все цвета рассмотренного выше цветового круга имеют максимальную яркость – 100 %. Яркость можно уменьшить до минимума – 0 %. Это означает затемнение цвета, иными словами, добавление в него определенного процента черной краски.

Lab – трехканальная цветовая модель, созданная Международной комиссией по освещению с целью преодоления существенных недостатков моделей RGB, CMYK, HSB. Lab призвана стать аппаратно-независимой моделью и определять цвета без учета особенности периферийных устройств – монитора, принтера, плоттера и др.

Любой цвет данной модели определяется: светлотой (L) и двумя компонентами – параметром а, который изменяется в диапазоне от зеленого до красного, и параметром b, варьирующим в диапазоне от синего до желтого.

Формат – это способ расположения или представления данных в памяти компьютерной системы, базе данных, документе или на внешнем носителе. Формат представляет собой способ цифровой реализации растра, зависящий от конкретного программного обеспечения, либо средство стандартизации или обмена данными. Для хранения растровых данных наиболее часто используются такие форматы, как *.tif, *.bmp, *.jpg и др.

TIFF (Tagged Image File Format) – это платформенно независимый формат растра, предназначенный для обмена изображениями высокого качества между настольными издательскими системами и связанными с ними приложениями. Предполагает два варианта: основной и расширенный. Многочисленные расширения формата принимают форму дополнительных тегов в структуре файла. TIFF считается одним из лучших форматов для изображений – он компактен и хорошо оперирует черно-белыми и цветными изображениями, а также изображениями в градациях серого.

BMP (Bit Map Picture) – простой и широко распространенный формат для хранения растровых изображений, разработанный фирмой Microsoft.

JPEG (Joint Photographic Experts Group) – представляет собой сжатый BMP. Позволяет передавать до 16 млн цветов с глубиной пиксела до 32 бит. Несмотря на медленную программную распаковку и упаковку обеспечивает наилучшее сжатие за счет кодирования с большими потерями.

К **достоинствам** растровых моделей относят:

- простую структуру данных (каждый пиксел независим друг от друга);
- техническую готовность внешних устройств (сканеров, видеокамер, цифровых фотоаппаратов) для создания растровых изображений;
- фотореалистичность (подразумевающую под собой возможность отображения на растре таких эффектов, как, например, туман, дымка, создание перспективной глубины и тончайших нюансов цвета и т. д.);
- возможность использования растров для визуального и автоматизированного дешифрирования объектов земной поверхности, а также при ГИС-анализе.

К **недостаткам** растров можно отнести:

- значительный их объем, сказывающийся на скорости обработки растров и времени вывода их на экран на компьютерах с небольшими объемами оперативной памяти;
- трансформация растров в результате их поворотов, наклонов, изменения размеров и других действий, выполняемых при геопривязке;
- невозможность значительного увеличения растровых изображений для рассмотрения отдельных их деталей (пикселизация).

При сканировании или цифровом фотографировании растровое изображение получает условную систему координат. Это не позволяет сразу использовать его в среде ГИС.

Для связи условной системы координат растра с реальной географической или проекционной в ГИС существует специальный алгоритм, называемый **геопривязкой**. Геопривязка выравнивает опорные точки в непривязанном растровом изображении по соответствующим точкам привязанного ГИС-слоя (рисунок

5). Если было сопоставлено правильно достаточное количество контрольных точек (обычно четыре или больше), местоположение растра переносится в реальное координатное пространство.

При регистрации растрового изображения по опорным точкам в координатном геопространстве выполняется создание *файла координатной привязки* (мирового файла, World File). Он представляет собой текстовый файл формата ASCII. С ним геопривязанный растр в ГИС будет выводиться в реальных координатах и окажется правильно ориентирован относительно других геоданных.

Файл координатной привязки связан с растровым изображением следующим соглашением об именах. Если имя файла растра имеет 3-символьное расширение (например, image.tif, image.bmp), то файл привязки будет иметь то же самое имя, а расширение будет содержать первый и последний символы расширения изображения и заканчиваться символом «w». Например, image.tfw, image.bpw.

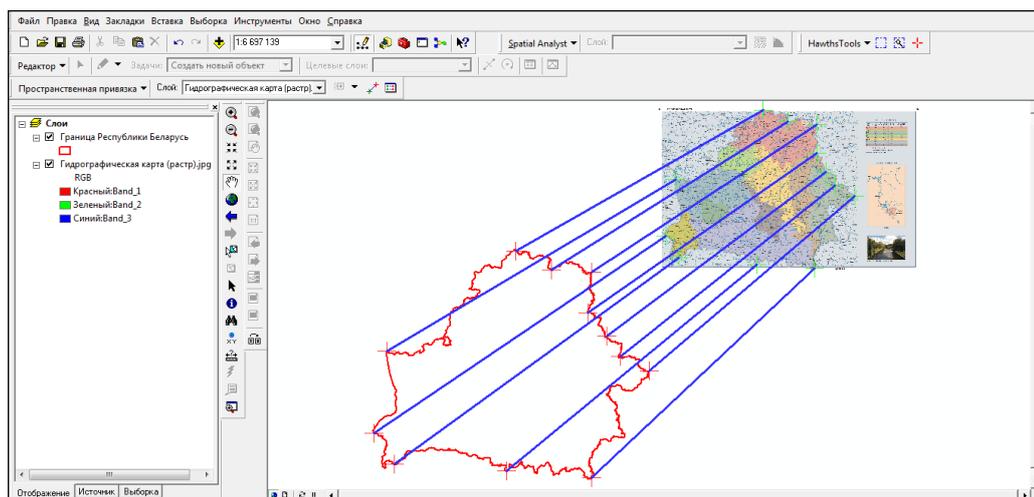


Рисунок 5 – Процесс геопривязки растра по опорным точкам

Для полного описания отношений условных и реальных координат растра достаточно 6 параметров (рисунок 6):

- А – размер пиксела по оси X;
- В – отрицательный размер пиксела по оси Y;
- С, D – параметры поворота;
- Е, F – X-, Y-координаты центра верхнего левого пиксела.

Отрицательное значение размера пиксела по оси Y объясняется разницей между началом координат изображения и географической системы координат. В изображении начало находится в левом верхнем углу, в географической системе координат – в левом нижнем.

Минск.igw	
8.4742712039673282	; A
-0.44920126307195402	; C
-0.43231659432837194	; D
-8.5145688495320613	; B
523244.42978864338	; E
5983480.765047228	; F

Рисунок 6 – Структура файла геопривязки

1.6. Векторная модель

Вектор определяется как отрезок прямой, имеющий определенное направление. Его характеризуют такие параметры, как начало, конец, длина, направление. С векторами можно совершать следующие операции: сложение, вычитание, скалярное умножение, векторное умножение, смешанное умножение и др. Математический векторный аппарат положен в основу создания векторных моделей географических объектов.

В ГИС векторное представление географических объектов выполняется посредством отображения их геометрической формы на двухмерной плоскости с использованием *элементарных графических примитивов* (рисунок 7):

- точек;
- линий (полилиний, дуг);
- полигонов (форм, областей).

Каждый векторный примитив в цифровой форме обозначается координатными парами X, Y:

- точечный геообъект представляется одной координатной парой X, Y;
- линейный географический объект образуется последовательностью координатных пар X₁, Y₁; X₂, Y₂; X₃, Y₃ и т. д. сегментов полилинии;
- полигональный географический объект представляется последовательностью координатных пар X₁, Y₁; X₂, Y₂; X₃, Y₃; ...; X₁, Y₁ сегментов полигона. В этом списке совпадение первой и последней пары координат означает, что полигон замкнутый.

Точечные объекты – это такие геообъекты, каждый из которых расположен только в одной точке пространства. Примером могут служить отдельно стоящее дерево, дом, метеостанция и др. Их можно характеризовать как дискретные, т.е. каждый из них в любой момент времени занимает только определенную точку пространства. При моделировании считают, что у таких объектов нет пространственной протяженности (длины и ширины). В действительности, все точечные объекты имеют некоторую пространственную протяженность, пусть самую малую, иначе их было бы невозможно увидеть. Масштаб, при котором наблюдаются эти геообъекты, задает рамки, определяющие представление их как точек. Например, если мы рассматриваем метеостанцию с расстояния нескольких метров, то это сооружение выглядит внушительным и имеет существенные длину и

ширину. Но представление меняется, когда мы начинаем отдаляться: чем дальше, тем меньше метеостанция выглядит как площадной объект, тем больше – как точечный.

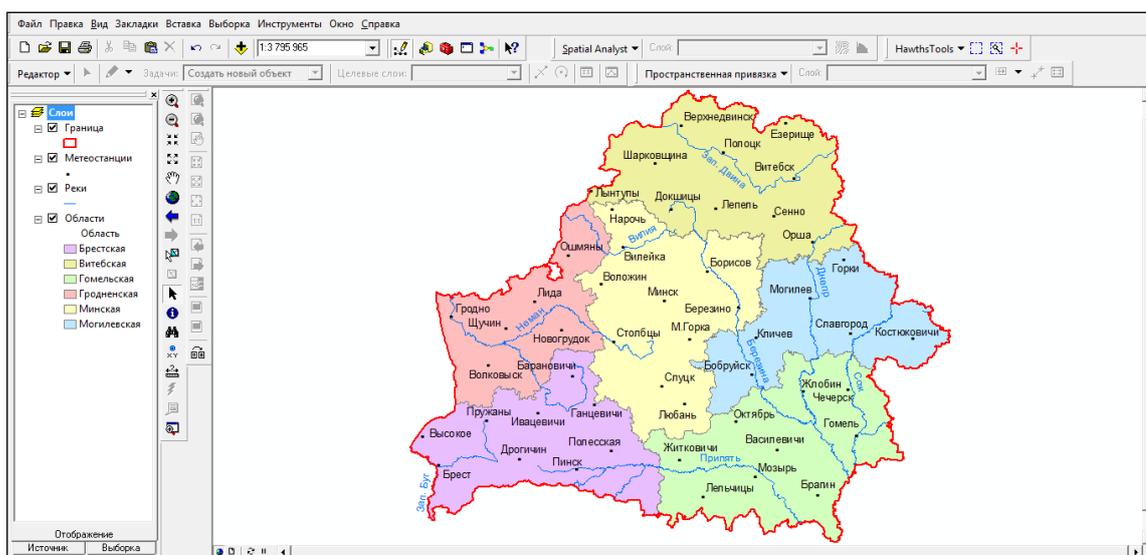


Рисунок 7 – Векторное представление точечных, линейных и полигональных географических объектов в ГИС

Линейные объекты представляются как «одномерные» в заданном масштабе. К ним можно отнести дороги, реки или границы, т. е. любые геообъекты, у которых один из геометрических параметров (длина) существенно больше другого (ширины). Масштаб, позволяющий наблюдать линейные объекты, обуславливает порог, при пересечении которого можно считать их не имеющими ширины. Данные геообъекты занимают два измерения при близком рассмотрении. Но, как только масштаб становится более мелким, они оказываются более тонкими, постепенно утоньшаясь настолько, что оказывается возможным представить их себе как линейные объекты. А у некоторых линий, таких как административные границы, изначально отсутствует ширина как таковая.

Для линейных объектов можно указать пространственный их размер путем определения длины. Кроме того, поскольку они не занимают локализованное нульмерное местоположение в пространстве, характерное для точек, необходимо знать, по меньшей мере, две их точки – начальную и конечную – для описания местоположения этого геообъекта в пространстве. Чем сложнее линия, тем больше узлов требуется для определения ее реальной геометрии.

Объекты, рассматриваемые с достаточно близкого расстояния, чтобы иметь и длину, и ширину, называются областями, формами или *полигонами*. Примеры полигонов, или двухмерных объектов, включают территории, занимаемые гидростомом, городом или целым континентом. При определении местоположения полигона в пространстве обнаруживается, что его граница является линией, которая начинается и заканчивается в одной и той же точке. Помимо указания местоположения полигонов через использование линий, можно представить их геометрию такими характеристиками, как форма, ориентация, площадь, периметр и др.

Качественные или количественные данные, представленные в виде свойств или характеристик, относящихся к определенному пространственному объекту базы данных ГИС, носят название **атрибутивных данных** (рисунок 8).

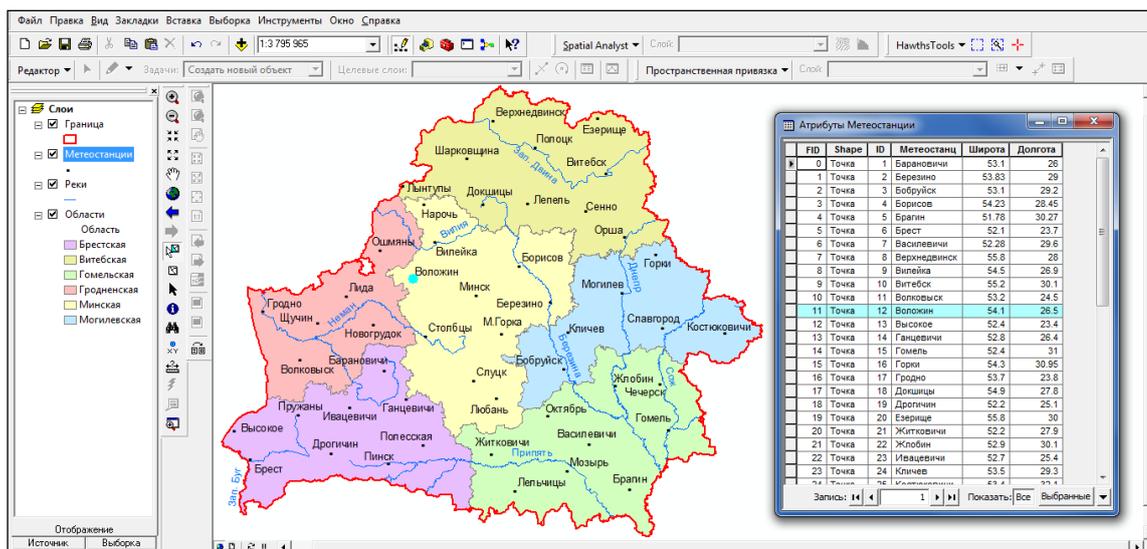


Рисунок 8 – Атрибуты векторного объекта

Атрибутивные данные географических объектов представляются в форме специальных атрибутивных таблиц, состоящих из строк и столбцов. Таблица атрибутов геообъектов представляет собой особый тип файла данных, хранящий качественную или количественную информацию о каждой точке, линии или полигоне. В данном файле возможно любое число атрибутов, однако все строки имеют одинаковый формат и длину.

Векторы обрабатываются компьютерной системой как идеальные геометрические фигуры, которые можно масштабировать, вращать и производить с ними ряд более сложных действий. При данных трансформациях изменяются лишь координаты вершин точек, линий и полигонов. К числу *преимуществ* представления геообъектов в ГИС с помощью векторных моделей относят компактность их структуры, небольшой объем занимаемой ими памяти, высокое качество визуализации пространственных данных, возможность топологического представления, широкие возможности по вовлечению их в ГИС-анализ и моделирование.

Топология – это математическая дисциплина, занимающаяся определением пространственных связей объектов. Топология в ГИС определяется как пространственные взаимоотношения между смежными или близкорасположенными геообъектами. Топологические структуры данных в ГИС более предпочтительны, так как они обеспечивают наиболее логичный путь для проведения оцифровки данных, исправления топологических ошибок, выполнения пространственного анализа векторов.

Векторно-нетопологическое представление геоданных – это цифровое представление точечных, линейных и полигональных пространственных объектов в виде набора координатных пар, с описанием только их геометрии (рисунок 9).

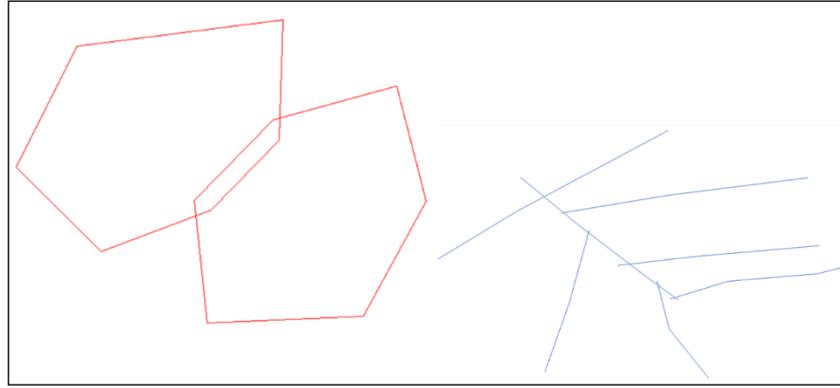


Рисунок 9 – Ошибки векторизации в рамках векторно-нетопологической модели

Векторно-топологическое представление геоданных – разновидность векторного представления точечных, линейных и полигональных пространственных объектов, описывающего не только их геометрию, но и топологические отношения между ними.

В ГИС топология реализуется в виде правил и механизмов исправления ошибок. В качестве примера можно привести использование таких правил топологии для полигонов, как «не должны перекрываться» и «не должны иметь пробелов». Задав их при формировании слоя можно быть уверенным, что проверка выявит все перекрытия и пробелы, образованные в результате векторизации. Корректное же исправление данных ошибок позволит получить ГИС-модель в виде полигонов (например, локальных водосборов рек), полностью отвечающую реальному земному пространству по геометрическим и топологическим характеристикам.

Существуют два основных типа векторных моделей географических объектов: простые нетопологические модели (называемые моделями spaghetti из-за содержащегося в них топологически неупорядоченного набора векторных геообъектов) и топологические модели. К векторно-нетопологическим относят *форматы* *.shp, *.dxf, *.tab и др., к векторно-топологическим – базу геоданных ArcGIS, покрытие Arc/INFO и др.

1.7. GRID-модель

Одним из способов представления пространственных данных в ГИС является *GRID (грид, регулярная сеть)*. Данная модель представляет собой способ организации геоданных в базе данных ГИС в виде множества равных по размерам и территориально сопряженных ячеек, упорядоченных в виде строк и столбцов, каждая из которых отражает качественные и количественные характеристики реальных геообъектов (или их классов), а также процессов или явлений.

Грид-модель состоит из *ячеек*. Каждая ячейка – это прямоугольник, представляющий определенную часть земной поверхности (аналогично пикселу растровой модели). Следует отметить, что в рамках отдельной грид-модели все ее

ячейки имеют одинаковый размер. Они организованы в виде строк и столбцов (рисунок 10).

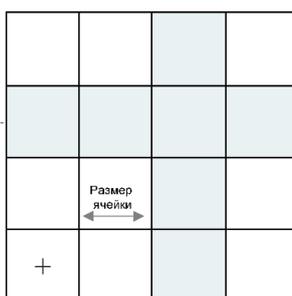


Рисунок 10. – Структура грид-модели

Каждой ячейке грид-модели присваивается определенное значение, служащее для идентификации или описания класса, категории, группы геообъектов, к которым она относится, либо для задания количественной характеристики свойства процесса или явления, которое описывает данная грид-модель. Значение ячейки может представлять такие характеристики, как атмосферное давление, температура воздуха, осадки и т. д.

Гриды, в отличие от растров, являются геореляционными моделями, т. е. они осуществляют связь пространственных и атрибутивных данных, что является базисом для ГИС-анализа и моделирования. Атрибуты грида хранятся в *атрибутивной таблице значений (VAT)*.

Таблица атрибутов грида содержит в себе два поля: VALUE (значение – предназначено для хранения значений ячеек) и COUNT (количество – хранит количество ячеек, имеющих одинаковые значения). Одна запись в таблице VAT относится ко всем ячейкам с одинаковым значением, в то время как одна запись в атрибутивной таблице вектора относится к конкретному геообъекту (рисунок 11). Если ячейке присвоено значение «нет данных», это означает, что данных о заданной характеристике в точке, которую представляет ячейка, либо нет, либо недостаточно.

Каждой грид-модели свойственна реальная (географическая либо проекционная) *система координат*. Она определяется размером ячейки грида, количеством его строк и столбцов и координатами X, Y центра верхней нижней ячейки. Процесс преобразования грида из одной картографической проекции в другую называется геометрической трансформацией.

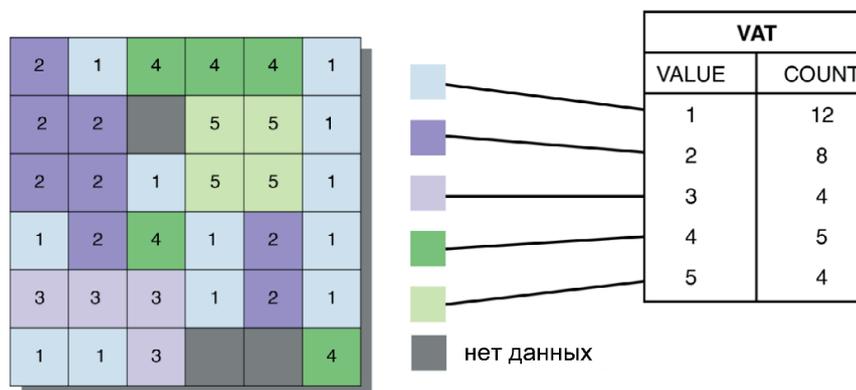


Рисунок 11. – Грид-модель и ее атрибуты

Среди основных функций ГИС-анализа и моделирования на основе ячеек грида в ГИС можно отметить: создание грида путем интерполяции (рисунок 12), выполнение анализа поверхностей, картирование расстояний, картирование плотности и др.

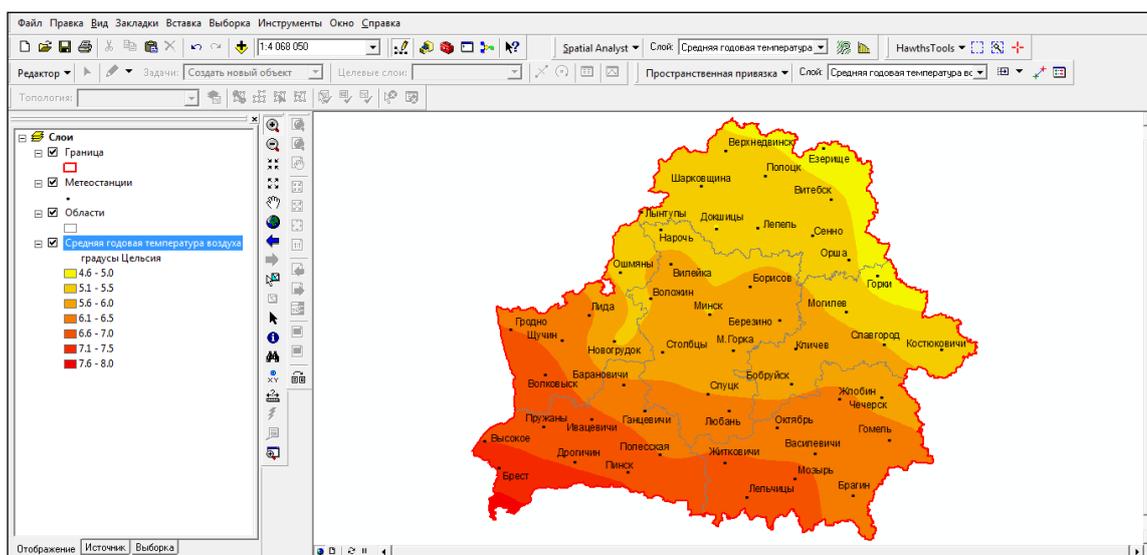


Рисунок 12 – Грид-модель средней годовой температуры воздуха Беларуси (по данным многолетних наблюдений)

1.8. TIN-модель

TIN (triangulated irregular network – триангуляционная нерегулярная сеть) – структура организации географических данных, описывающая трехмерную земную поверхность в виде связанных между собой общими вершинами и сторонами непересекающихся треугольников неправильной формы. Каждая вершина треугольника в данной сети определяется тремя координатами (x , y , z) его вершин (рисунок 13).

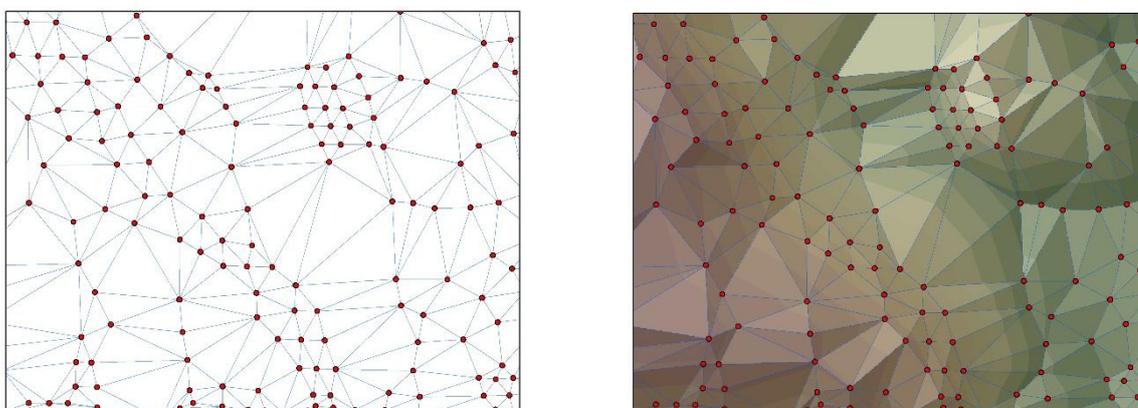


Рисунок 13 – TIN-модель

TIN-модель является специфической векторной топологической моделью данных и выступает как альтернатива грид-модели при представлении непрерывных поверхностей. TIN представляет поверхность как набор связанных треугольников, что отражено в ее названии «триангуляционная». Треугольники строятся

из трех точек, принадлежащих к произвольным областям поверхности, что и подчеркивается прилагательным «нерегулярная». Наконец, модель TIN создает сеть треугольников, сохраняя топологические отношения между ними.

Геометрия модели TIN образуется гранями и узлами треугольников в трехмерном пространстве. *Грань* – это сторона треугольника в трехмерном пространстве, а *узел* – его вершина с координатами X, Y, Z (рисунок 14).



Рисунок 14 – Элементы треугольника TIN-модели

Существуют два основных **способа хранения TIN**: по треугольникам и по точкам. При кодировании сети *по треугольникам* для каждого из них в базе данных создается запись, содержащая его уникальный номер, координаты трех его вершин, а также номера трех смежных с ним треугольников.

При хранении *по точкам* (узлам) для каждого узла модели сохраняются ее уникальный номер, координаты и список узлов, с которыми она соединена прямыми (по часовой стрелке).

Модель TIN обладает следующими **свойствами**:

- позволяет получить точное представление о трехмерной земной поверхности;
- является базисом 3D-визуализации природных, природно-антропогенных и антропогенных геообъектов в ГИС (рисунок 15);

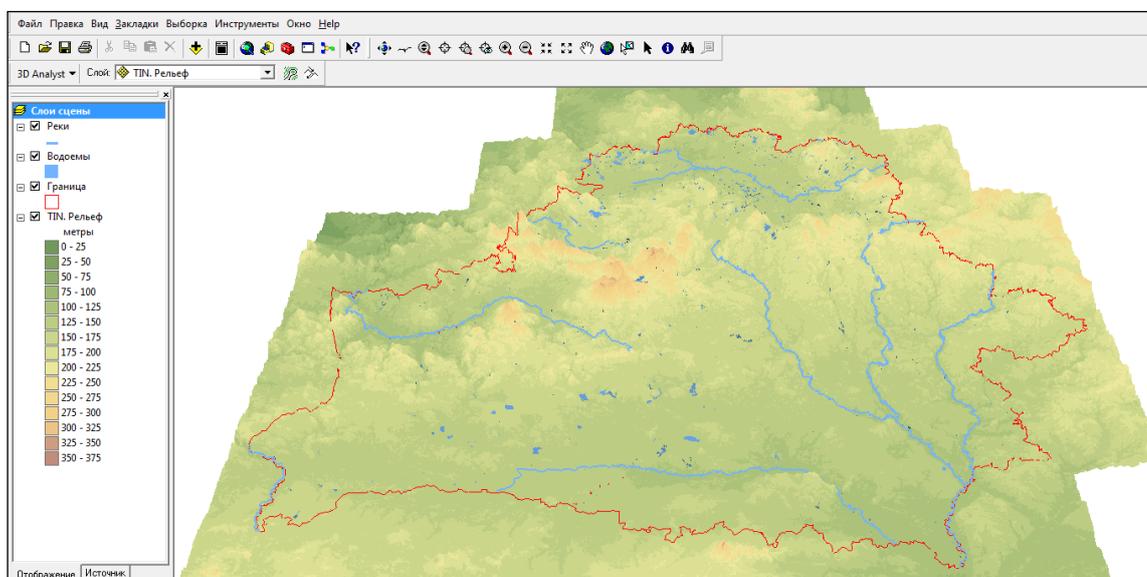


Рисунок 15 – 3D-визуализация TIN-модели рельефа Беларуси

- позволяет выполнять анализ 3D-поверхностей (вычисление отметок в любой точке геопространства, уклонов, экспозиций склонов, получение изолиний

поверхности с заданным сечением, расчет объемов, создание гипсометрических профилей, анализ видимости).

Источниками данных для построения модели TIN являются:

1) *масс-точки* – векторный точечный слой, использующийся в качестве вершин треугольников модели TIN;

2) *линии перегиба* являются линиями с высотой (координатой Z), зарегистрированной в каждой вершине. В TIN-модели они становятся последовательностями одного или более краев пересекаемого ими треугольника модели. Обычно линии перегиба представляют собой естественные (хребты или водотоки) или искусственные объекты (например, шоссе);

3) *вырезающие полигоны* используются для определения границ поверхности TIN. Они необходимы, когда область данных имеет неправильную форму;

4) *стирающие полигоны* определяют отверстия в TIN. Они используются, чтобы представить области, для которых нет данных;

5) *замещающие полигоны* определяют области постоянной высоты. Они используются, чтобы представить водные тела (если нет данных об их батиметрии) или искусственные объекты, которые являются плоскими.

1.9. Методы векторного геоинформационного анализа

Векторный анализ в ГИС используется при обработке цифровых векторных слоев с учетом атрибутов геообъектов. Наиболее он оправдан при работе с дискретными географическими объектами, т. е. имеющими четкие границы в геопространстве.

Основные *виды* векторного анализа в ГИС можно обозначить как следующие направления:

- элементарный пространственный анализ;
- пространственная статистика;
- расширенный пространственный анализ;
- сетевой анализ.

Основными задачами **элементарного пространственного анализа** являются: просмотр векторных геообъектов, анализ их атрибутов, картометрические измерения, составление тематических картограмм, картодиаграмм, картосхем, графиков и диаграмм по атрибутам векторов.

Преимуществами **просмотра векторных геообъектов** (рисунок 16) в ГИС являются:

- удобная навигация;
- возможность выборки и идентификации геообъектов;
- совмещение в ГИС различных геоданных.

Основные **подоперации анализа атрибутов** векторов в ГИС включают:

• поиск объекта и определение его местоположения по определенному атрибуту;

- выборку объектов по атрибутам (рисунок 17);
- сортировку объектов по их атрибутам и переключение выборки.

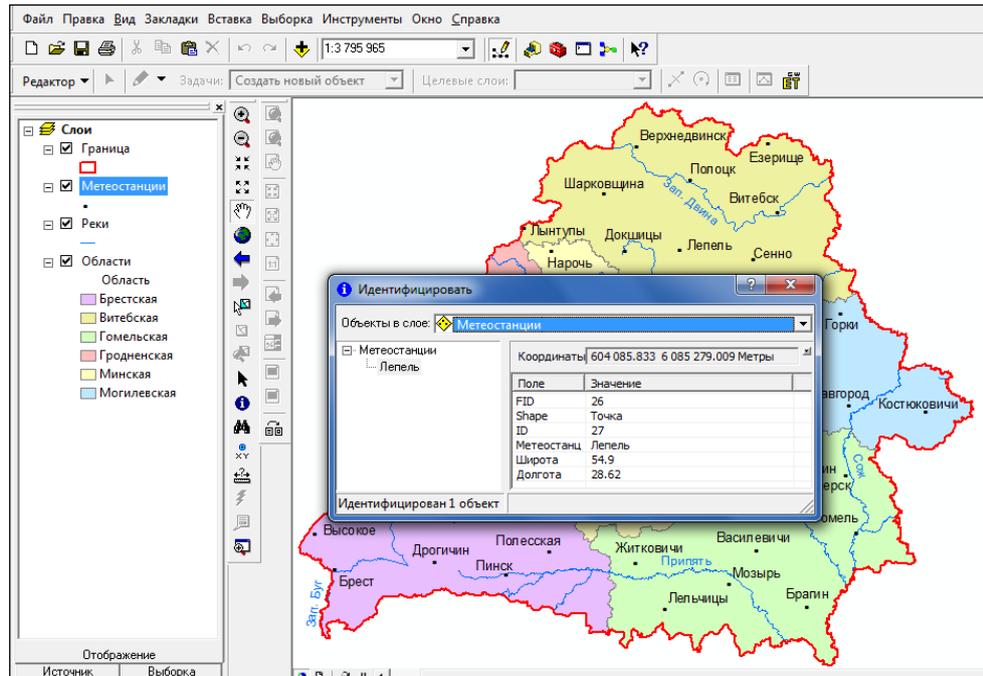


Рисунок 16 – Просмотр в ГИС векторных геообъектов

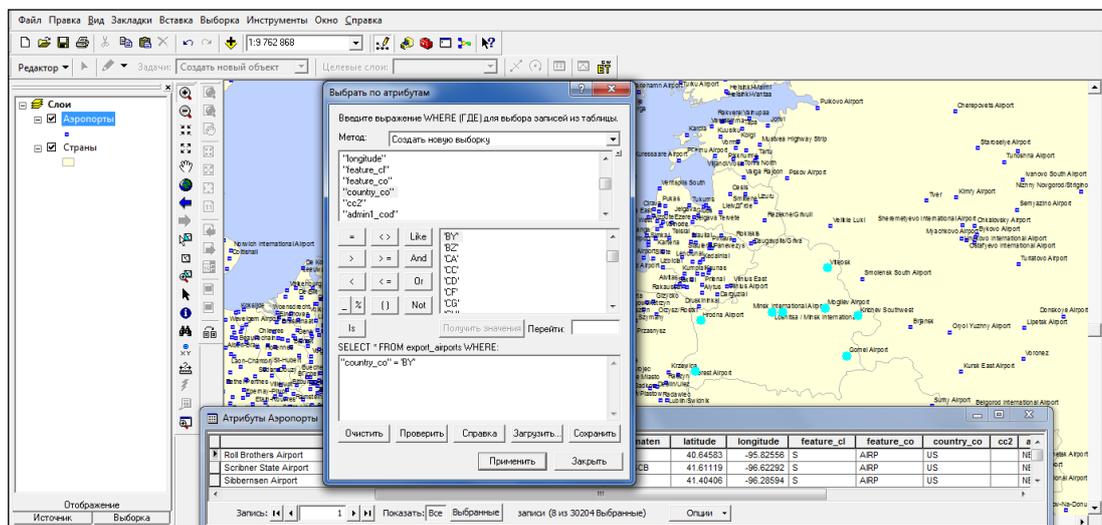


Рисунок 17 – Выборка векторных объектов по определённому атрибуту в ГИС

К картометрическим действиям над векторами относят:

- определение расстояний между векторными геообъектами (рисунок 18);
- определение координат точечных геообъектов;
- определение длин линейных геообъектов;
- определение площадей и периметров полигональных геообъектов.

На основе текстовых и количественных атрибутов векторов в ГИС возможно составление тематических картограмм, картодиаграмм, картосхем, графиков, диаграмм.

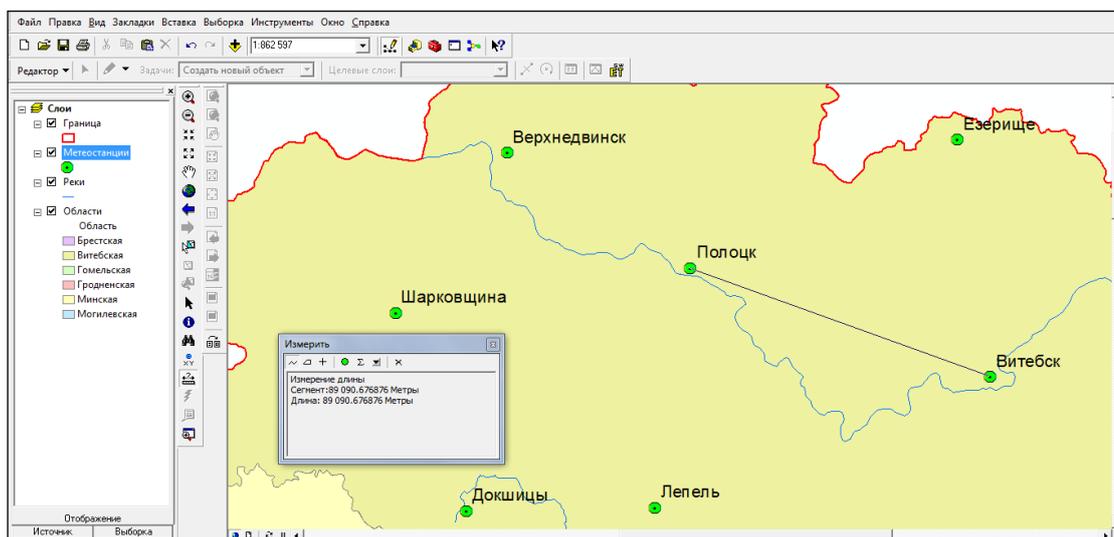


Рисунок 18 – Картометрические операции в ГИС

Среди операций *пространственной статистики* в ГИС выделяют: статистическую обработку атрибутов, описательную статистику выборки, работу с базами атрибутивной информации, а также расширенные операции пространственной статистики.

Статистическая обработка атрибутов позволяет выполнять расчет значений новых атрибутивных полей на основе существующих. В качестве примера выполнения такой операции можно привести расчет средних дневных, декадных, месячных, годовых и многолетних значений отдельных метеорологических показателей по метеостанциям на основе атрибутов, хранящих «сырые» измеренные значения (рисунок 19).

Функции *описательной статистики выборки* дают возможность рассчитывать основные статистические показатели (максимум, минимум, среднее и т. д.) массива атрибутивных данных векторных объектов.

Большинство руководств по разработке баз геоданных рекомендуют строить их на основе множества атрибутивных таблиц, каждая из которых посвящена отдельной теме (например, осадкам, температуре, атмосферному давлению и т. д.), вместо создания одной таблицы, содержащей все поля. Такая схема предотвращает дублирование информации в базе данных, когда необходима определенная тематическая информация, она связывается с атрибутами ГИС-слоя.

В ГИС для *работы с базами атрибутивной информации* предусмотрено два типа интерактивного взаимодействия табличных данных с атрибутами геообъектов: соединения и связи.

При выполнении соединения двух таблиц данные одной из них добавляются в другую на основании значения общего для данных таблиц поля (например, названия метеостанции) (рисунок 20).

Как правило, соединение таблиц основано на значении поля, которое присутствует в обеих таблицах. Название поля в таблицах может различаться, но его тип должен быть один и тот же: числовые поля соединяются с числовыми, строковые со строковыми и т. д.

Связывание таблиц описывает отношение между двумя таблицами. Это происходит на основании общего поля (как и при соединении), но при этом не происходит добавления атрибутов одной таблицы в другую, однако после данной процедуры они тесно взаимодействуют друг с другом в интерактивном режиме.

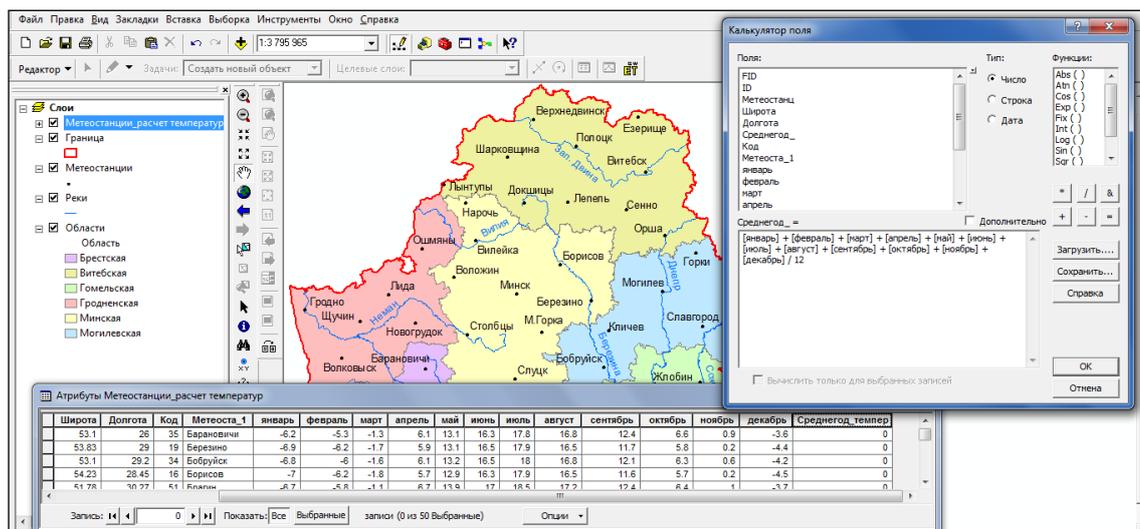


Рисунок 19 – Статистическая обработка атрибутов в ГИС

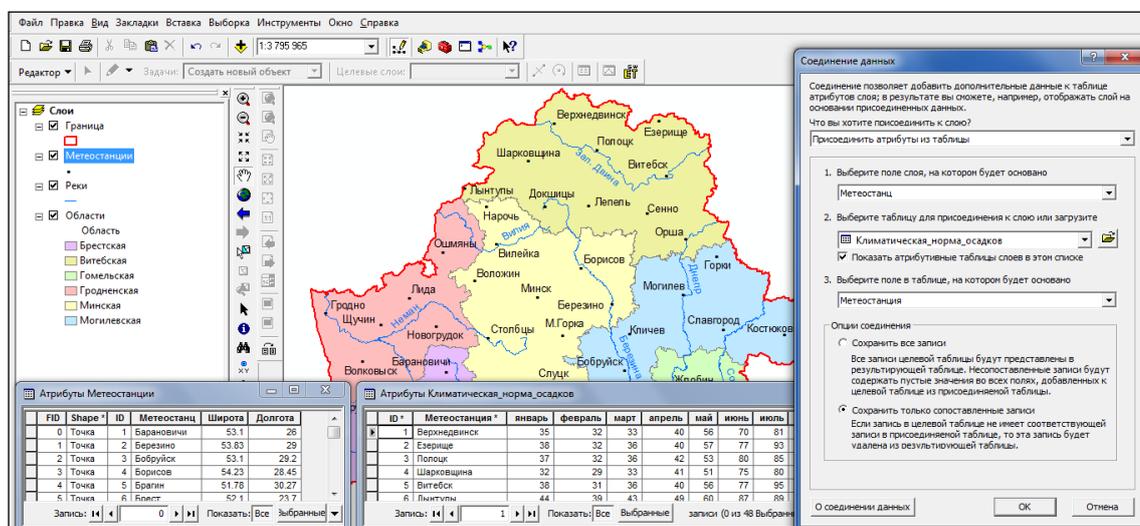


Рисунок 20 – Связывание таблиц в ГИС

Когда слои на карте не имеют общего атрибутивного поля, можно вместо соединения по атрибуту построить пространственное соединение. Данное соединение связывает атрибуты двух слоев на основании положения геообъектов. Оно отличается от соединения по атрибуту тем, что является нединамическим и требует сохранения результатов в новый выходной слой.

При осуществлении пространственного соединения можно использовать один из трех типов ассоциаций, описание которых приведено ниже:

- сопоставить каждый объект с ближайшим объектом или объектами: в этой ассоциации можно либо добавить атрибуты ближайшего объекта, либо добавить множество численных атрибутов ближайших объектов (min, max и т. д.);

- сопоставить каждый объект с объектами, находящимися внутри него: в этом случае добавляются атрибуты объекта, находящегося внутри текущего объекта;

- сопоставить каждый объект с объектами, его пересекающими.

Расширенные операции пространственной статистики включают определение пространственного распределения геообъектов, а также элементы кластерного и регрессионного анализов.

Основными задачами *расширенного пространственного анализа* являются: оверлейные операции, анализ близости, переклассификация и районирование, генерализация, геообработка.

Оверлейные операции представляют собой ГИС-операцию наложения друг на друга двух или более слоев, результатом которой является графическая композиция (графический оверлей) используемых слоев либо единственный результирующий слой, несущий в себе набор пространственных объектов исходных слоев, топологию этого набора и атрибуты, которые являются производными от значений атрибутов исходных объектов. Примером оверлейной операции может служить нахождение населенных пунктов, попадающих в зону штормового предупреждения при прохождении тропического урагана (рисунок 21).

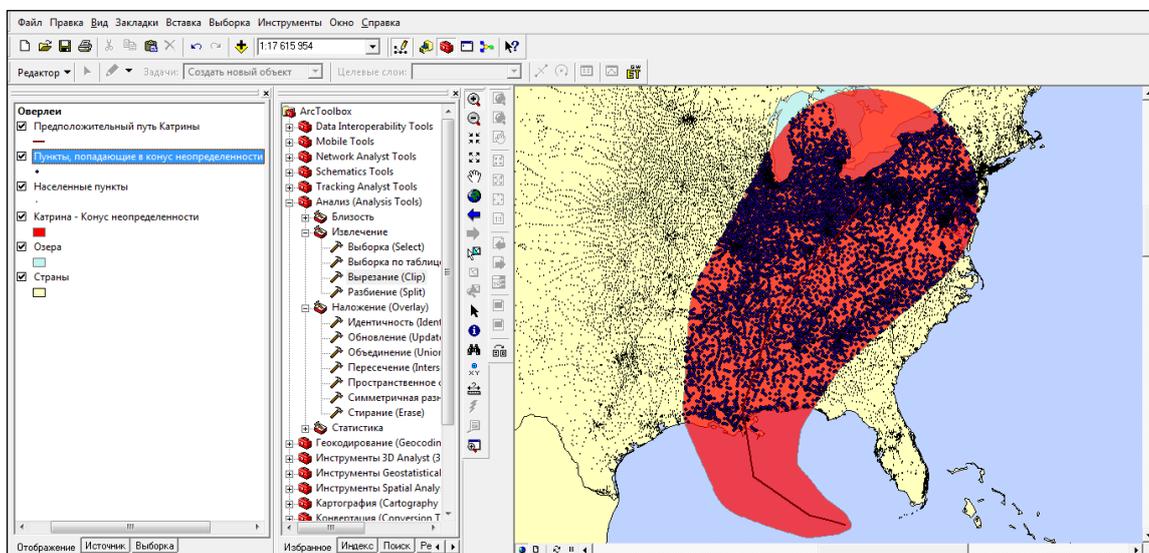


Рисунок 21 – Пример выполнения оверлейной операции вырезания в ГИС

Анализ близости в ГИС предполагает построение буферных зон и полигонов Тиссона.

Создание буферных зон – это ГИС-операция, позволяющая определить области, окружающие геообъекты. Они представляют собой полигональный слой, образованный путем расчета и построения эквидистант, или эквидистантных линий, равноудаленных относительно множества точечных, линейных или полигональных пространственных объектов. ГИС-поддержка решения таких типов географических задач, как проектирование санитарно-защитных зон предприятий, водоохраных зон водных объектов и других, осуществляется с использованием данной функции (рисунок 22).

Построение буферных зон выполняется для точечных, линейных или полигональных векторных геообъектов. В ГИС можно задавать расстояния буферных

зон в разных единицах измерения, например, метрах, километрах, единицах стоимости и др.

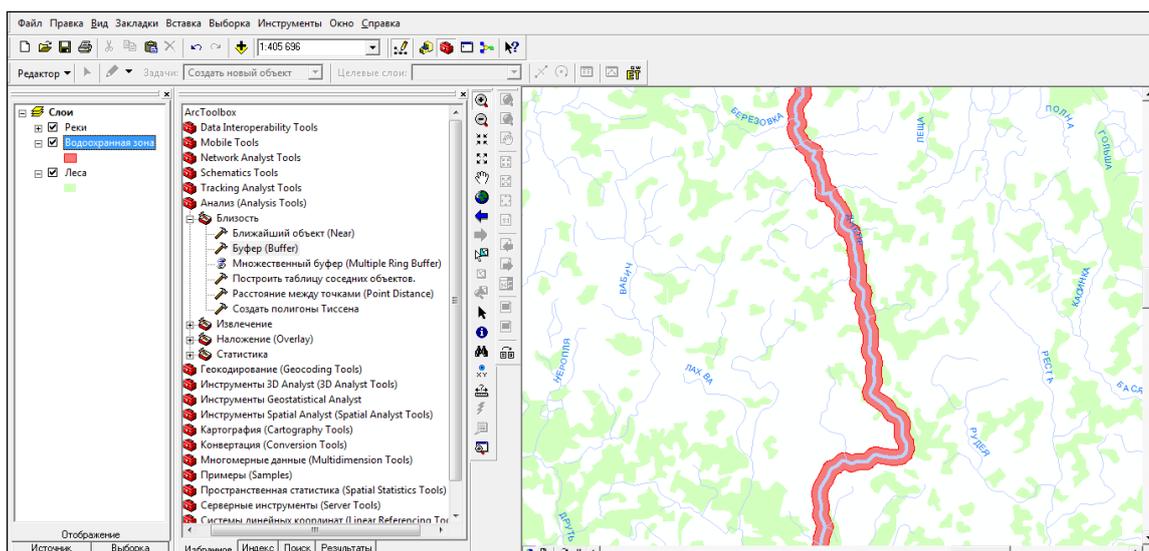


Рисунок 22 – Результат построения буферной зоны в ГИС

Точечные распределения могут характеризоваться с помощью полигонов Тиссена (называемых также диаграммами Дирихле и диаграммами Вороного). Их построение основано на идее о том, что можно нарастить полигоны вокруг точек, дабы показать зоны их влияния в пространстве (рисунок 23). Названы они были в честь климатолога Тиссена, который первым с их помощью проинтерполировал сильно неравномерные распределения климатических данных.

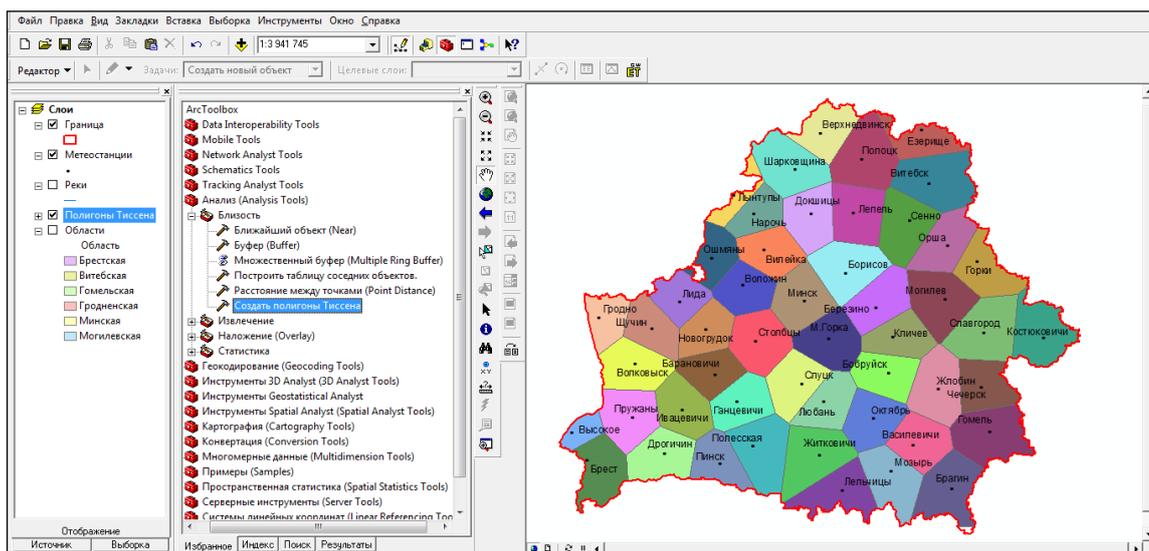


Рисунок 23 – Результат построения полигонов Тиссена по метеостанциям в ГИС

Переклассификация – это аналитическая операция, направленная на преобразование слоя ГИС-карты по заданному условию (рисунок 24). *Районирование* определяется как процедура вычленения целостных территориальных систем в ГИС, когда внимание исследователей концентрируется на различиях между ними.

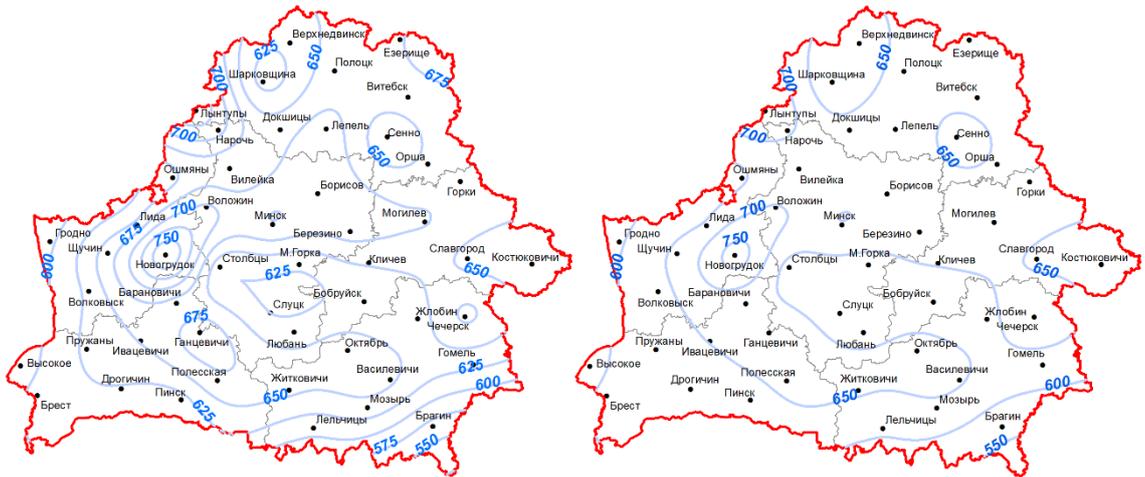


Рисунок 24 – Пример переклассификации слоя изогьет в ГИС

Одной из возможностей ГИС является картографическая *генерализация*. Генерализация в ГИС имеет два аспекта: генерализация базы данных и непосредственно геометрическая генерализация. Генерализация информации в базе данных может быть представлена как построение масштабного ряда для всех объектов карты. Геометрическая генерализация трактуется как упрощение линий или полигонов (рисунок 25).

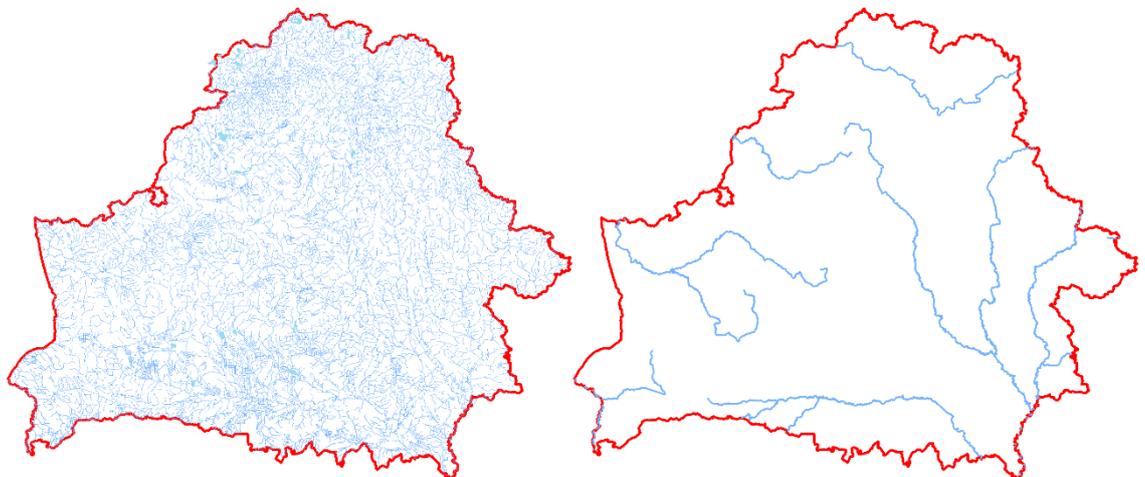


Рисунок 25 – Пример генерализации объектов гидрографии в ГИС

В ГИС существуют различные методы решения задач *геообработки*. Можно выполнять задачи геообработки, запустив инструмент из диалогового окна, командной строки либо в рамках скрипта или модели (рисунок 26).

Одно из наиболее современных направлений ГИС-анализа – *сетевой анализ* геообъектов. Любая система связанных между собой линейных объектов – автомобильные и железные дороги, реки, трубопроводы, телефонные линии и линии электропередач – представляет сеть. Передвижения людей, транспортировка товаров и услуг, обмен информацией и передача энергии происходят по сетям.

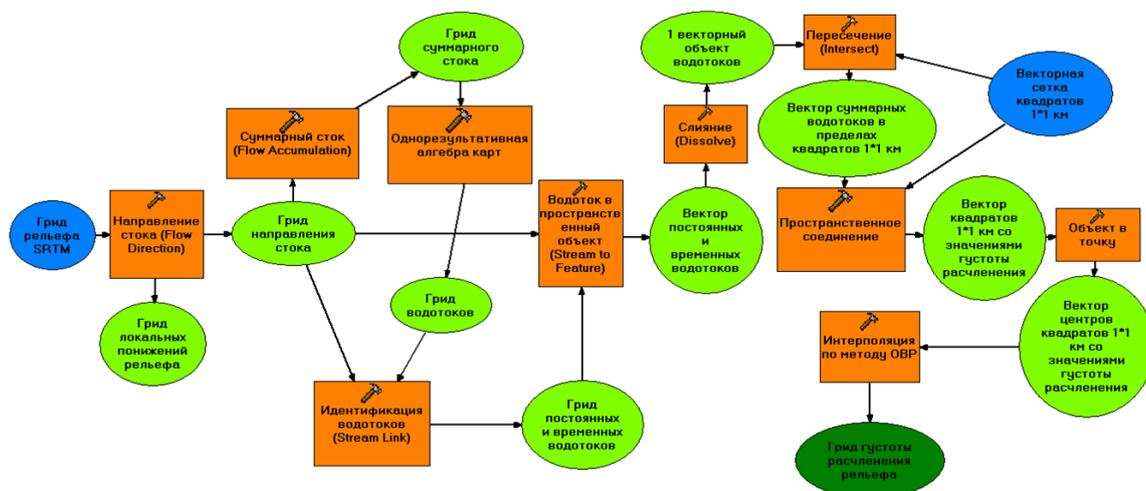


Рисунок 26 – Пример геообработки с помощью модели в ГИС (расчет расчлененности поверхности постоянными и временными водотоками)

Типичные задачи сетевого анализа: *поиск ближайшего пункта, разработка кратчайшего маршрута* (рисунок 27), *определение зон обслуживания (доступности)*, *определение местоположения по адресу (геокодирование)*.

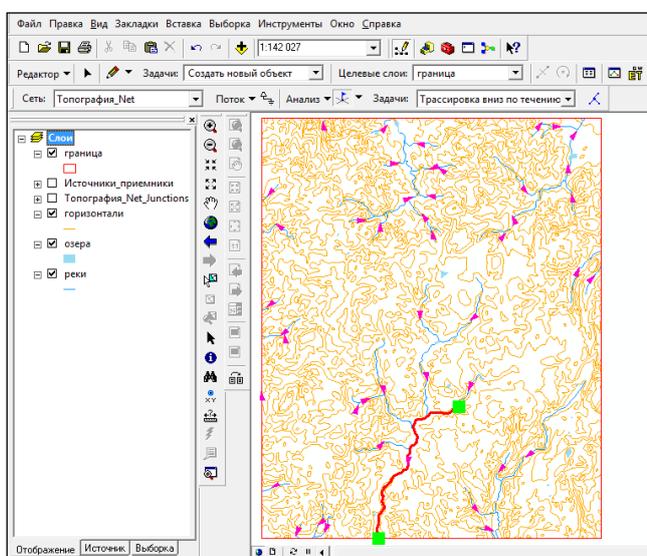


Рисунок 27 – Сетевой анализ гидрографической сети в ГИС

1.10. Методы растрового геоинформационного анализа

Растровый анализ в ГИС используется при обработке цифровых растровых-grid-слоев с учетом их атрибутов. Наиболее оправдан растровый анализ в ГИС при работе с непрерывными географическими процессами или явлениями, а также с объектами, суммированными по площадям.

Основные *виды* растрового анализа в ГИС можно представить в виде следующих основных направлений:

- интерполяция растра;
- анализ поверхностей;
- картирование плотности;

- картирование расстояний;
- использование функции картографической растровой алгебры.

Интерполяция рассчитывает значения ячеек грида на основании ограниченного числа точек измерений. Ее можно использовать для вычисления неизвестных значений любых географических точечных данных: высоты над уровнем моря, уровня осадков, концентрации химических веществ, уровня шума и т. д.

Предположение, позволяющее проводить интерполяцию, состоит в том, что близкие по расположению объекты обладают похожими характеристиками. Например, если дождь идет на одной стороне улицы, можно с большой уверенностью предположить, что он идет также и на другой ее стороне. Однако с меньшей вероятностью можно быть уверенным, что он идет во всем городе или же в соседних населенных пунктах. С помощью этой аналогии легко понять, что значения точек, расположенных ближе к точке, на которой произведены эмпирические наблюдения, будут более схожими, нежели значения более отдаленных от нее точек.

Инструменты интерполяции обычно делятся на детерминированные и геостатистические методы.

Детерминированные методы присваивают значения местоположениям, основываясь на измеренных эмпирическим путем значениях, попадающих в окрестность интерполируемой точки, и на заданных математических формулах, которые определяют сглаженность результирующей поверхности. К ним относят метод обратно взвешенных расстояний, метод сплайна и др.

Геостатистические методы основываются на статистических моделях, включающих анализ автокорреляции (статистических отношений между измеренными точками). В результате этого геостатистические методы не только имеют возможность создавать поверхности прогнозируемых значений, но и предоставляют оценку достоверности (точности) прогнозируемых значений. К подобным методам относят кригинг.

Особо выделяется инструмент «Топо в растр», использующий метод интерполяции, разработанный для создания непрерывных поверхностей по горизонталям, для целей гидрологического ГИС-анализа и моделирования.

Метод обратно взвешенных расстояний (ОВР) вычисляет значения ячеек по среднему от суммы значений точек замеров, находящихся вблизи каждой ячейки. Чем ближе точка к центру оцениваемой ячейки, тем больший вес, или влияние, имеет ее значение в процессе вычисления среднего. Этот метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера (рисунок 28).

Сплайн рассчитывает значения ячеек на основе математической функции, минимизирующей кривизну поверхности, вычисляя наиболее ровную поверхность, точно проходящую через все точки измерений (рисунок 29). Идея аналогична растягиванию резиновой пленки так, чтобы она проходила через все точки при минимизации кривизны поверхности.

Кригинг похож на ОВР в том, что он учитывает вес окружающих измеренных значений с тем, чтобы определить расчетное значение для ячейки, в которой

не было произведено эмпирических наблюдений. Общая формула для обеих интерполяций представляет собой суммирование данных с учетом веса. Однако в кригинге вес зависит не только от расстояния между отдельной точкой измерения и точкой вычисления, но также от общего пространственного распределения точек замеров (рисунок 30). Пошаговый процесс включает в себя поисковый статистический анализ данных, моделирование вариограммы, создание поверхности и (дополнительно) изучение точности и достоверности полученной поверхности.

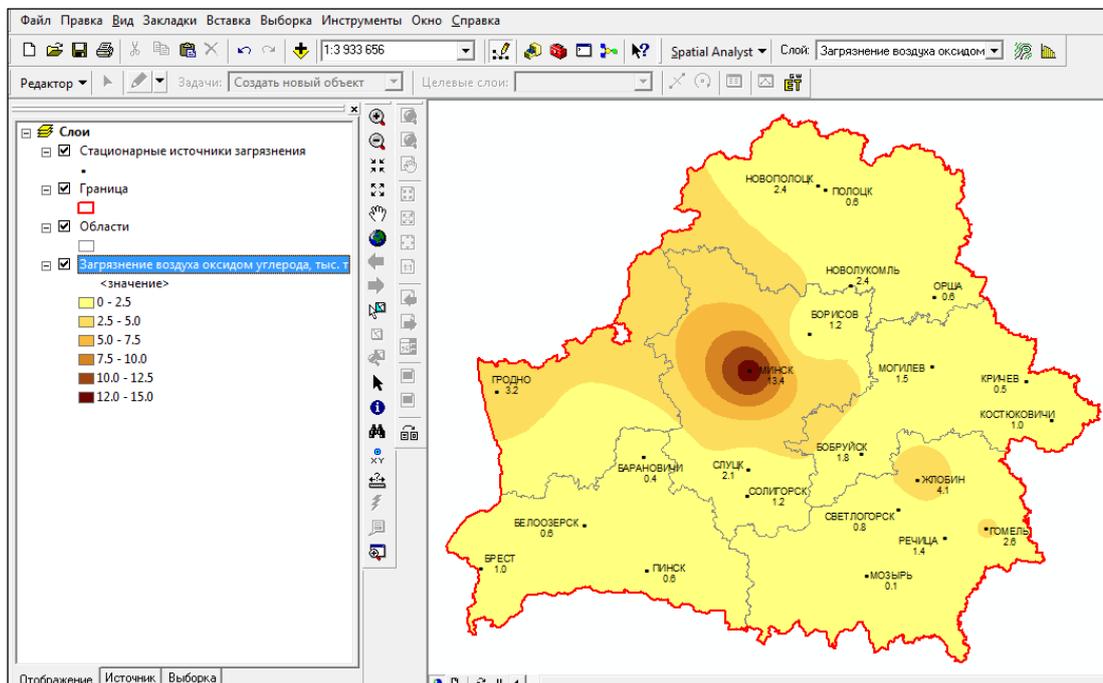


Рисунок 28 – Результат интерполяции грид-модели методом ОВР

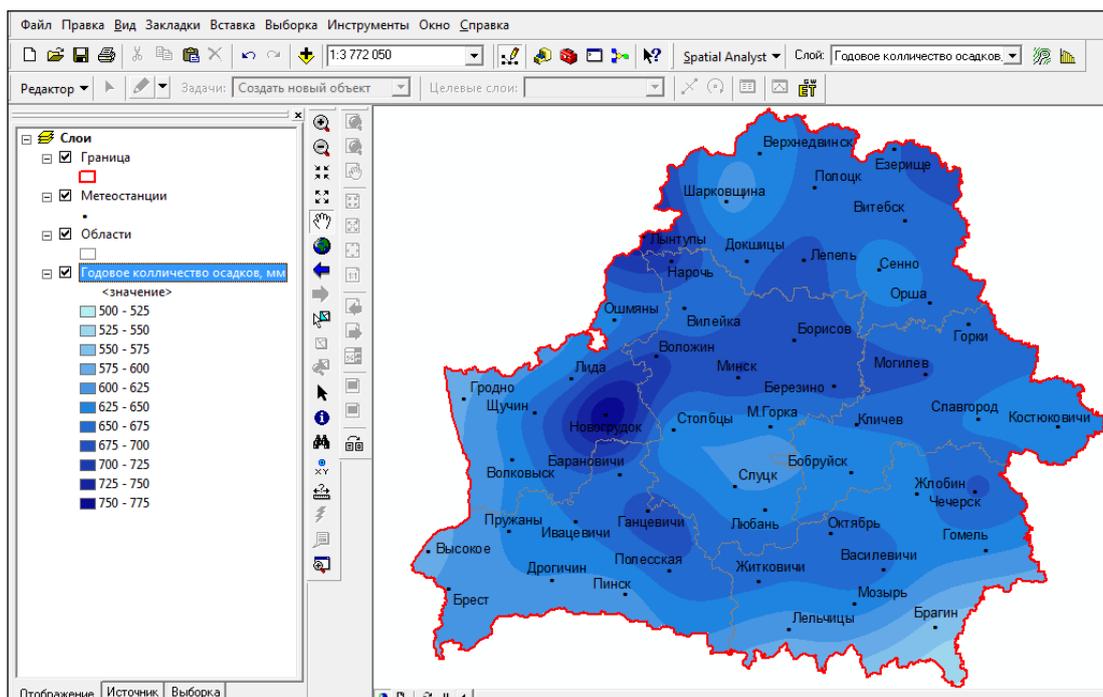


Рисунок 29 – Результат интерполяции грид-модели методом сплайна

Практика показывает, что создаваемые с помощью детерминированных и геостатистических методов интерполяции цифровые модели рельефа зачастую являются некорректными, т. е. неправильно воспроизводят рельеф земной поверхности на определенных участках. К таким можно отнести русла рек и днища естественных и искусственных водоемов. Повышению качества моделей рельефа способствует максимальное использование неявной информации о рельефе (береговая линия водоемов, русла водных потоков и другая гидрографическая информация).

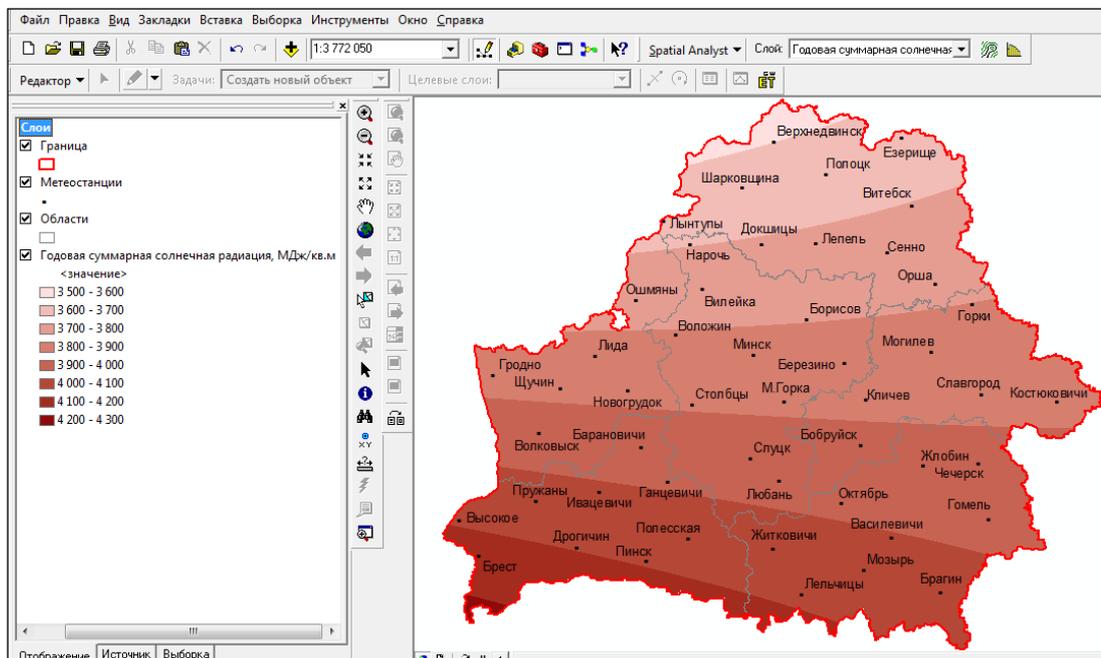


Рисунок 30 – Результат интерполяции грид-модели методом кригинга

Для построения гидрологически корректной цифровой модели рельефа способом интерполяции используется инструмент «Топо в растр». При создании грид-модели рельефа учитывается не только пространственное положение горизонталей, отметок высот и урезов воды, но и расположение гидрографической сети, водоемов (озер, водохранилищ, прудов), локальных понижений рельефа (рисунок 31).

Модель рельефа, созданная с помощью инструмента «Топо в растр», может быть использована при расчете основных характеристик поверхностного стока территории (направление стока, суммарный сток, длина линии стока), автоматической идентификации постоянных и временных водотоков и определении их порядка, а также при выполнении бассейновой и водосборной дифференциации территории.

Создание поверхности направления стока позволяет определить в пределах объекта исследований территории разнонаправленного (по сторонам света) стока. Модель суммарного стока рассчитывает количество ячеек грида, сток которых стремится в каждую последующую, находящуюся на более низком гипсометрическом уровне. Грид длины линии стока отражает время прохождения воды через весь бассейн.

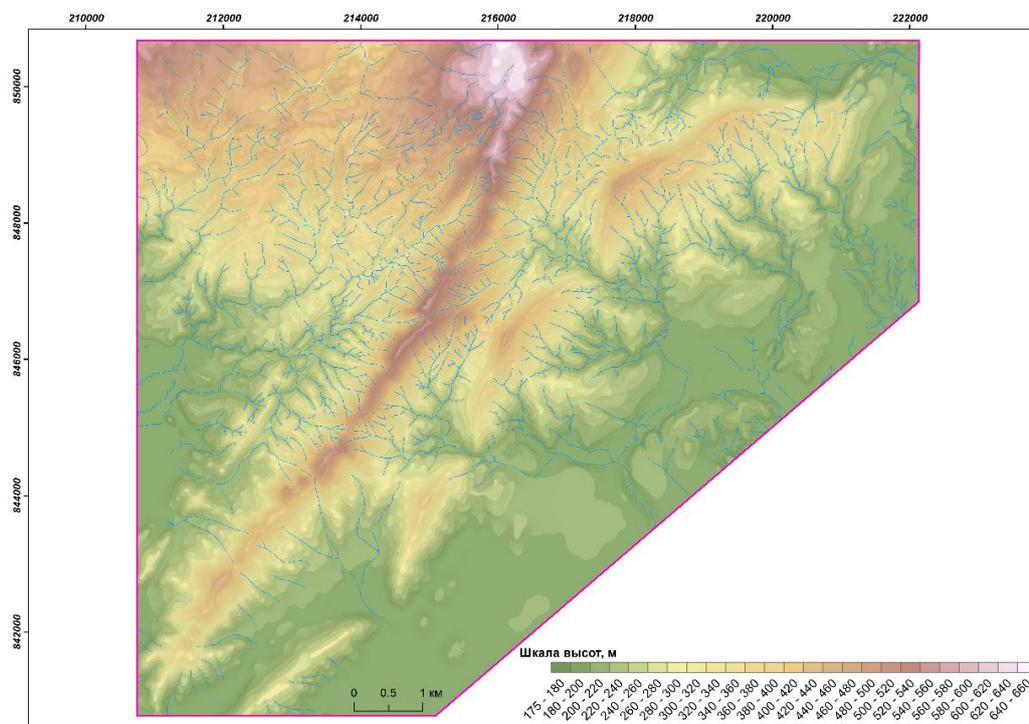


Рисунок 31 – Грид-модель рельефа, созданная инструментом «Топо в растр»

На основе моделей, характеризующих поверхностный сток, с помощью инструментов алгебры растров автоматически идентифицируются постоянные и временные водотоки (рисунок 32). Определение их порядка основывается на количестве притоков. В ГИС реализован расчет по методам Страллера и Шрива.

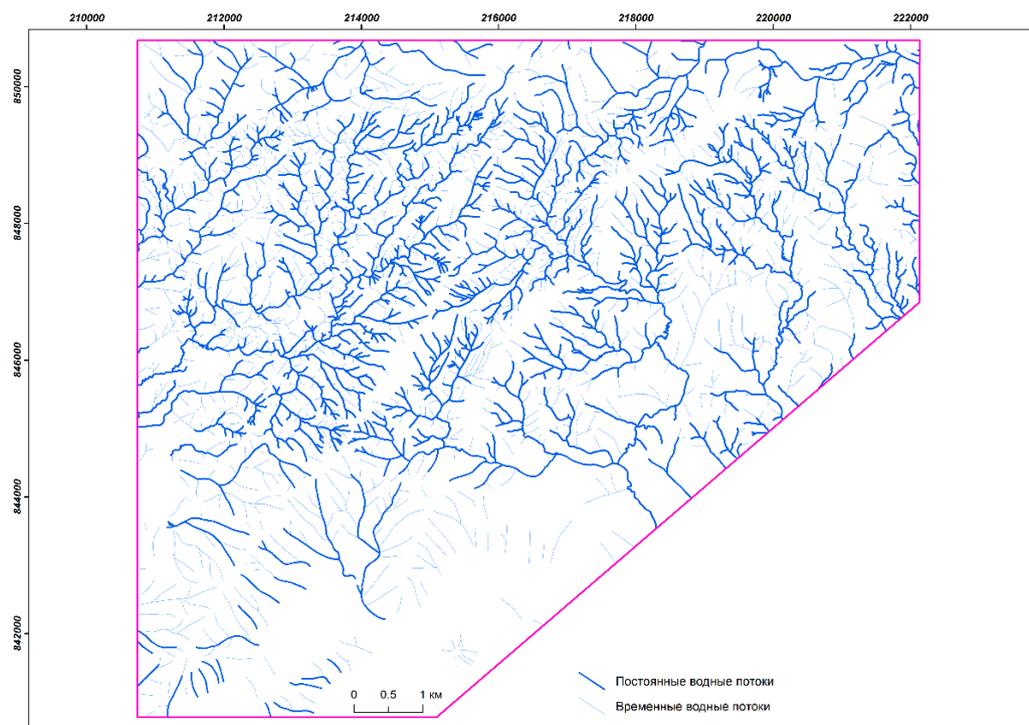


Рисунок 32 – Результат автоматической идентификации постоянных и временных водотоков по грид-модели рельефа, созданной инструментом «Топо в растр»

На завершающем этапе моделирования по грид-поверхности направления стока автоматически выделяются бассейны рек и локальные водосборы (рисунок 33).

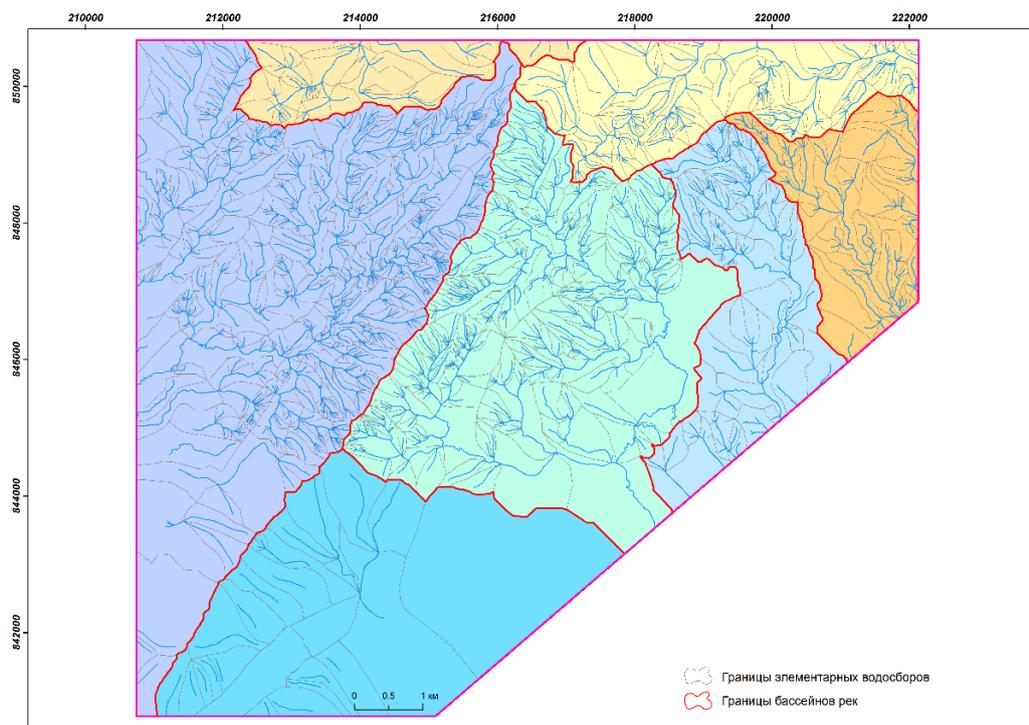


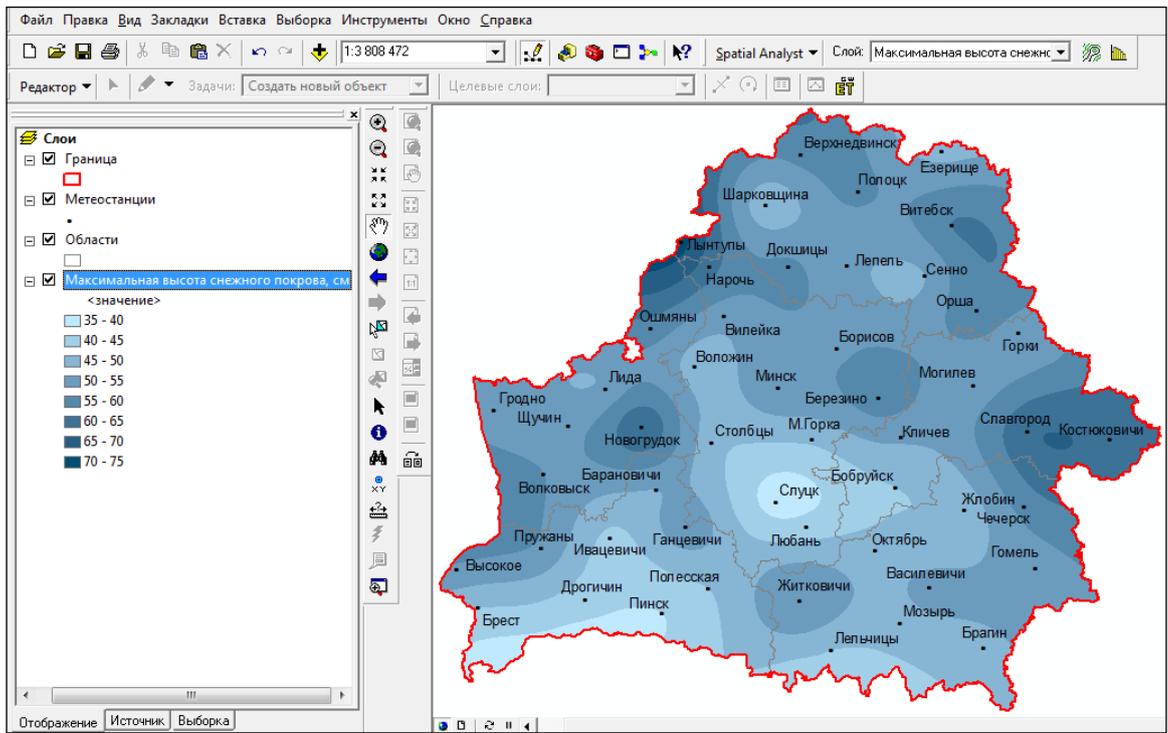
Рисунок 33 – Результат автоматической бассейновой и водосборной дифференциации территории по грид-модели рельефа, созданной инструментом «Топо в растр»

Среди методов **анализа поверхностей** в ГИС можно выделить построение изолиний и расчет морфометрических характеристик рельефа.

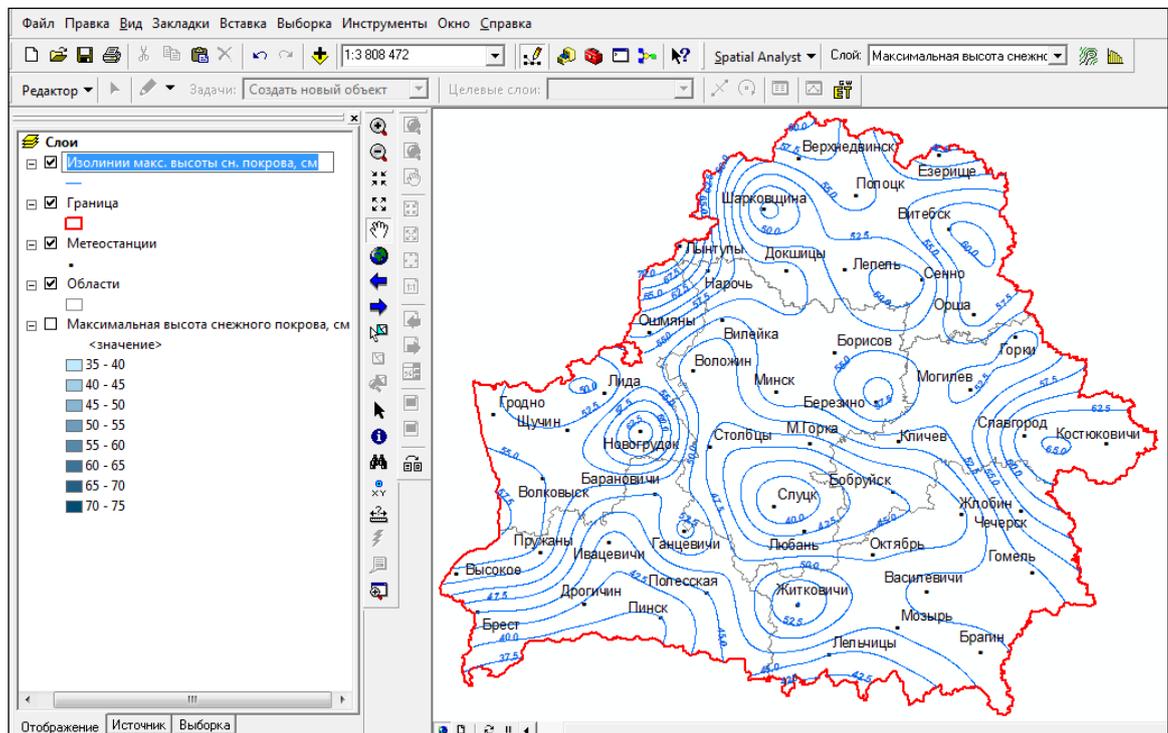
По созданной средствами интерполяции грид-поверхности (например, абсолютных высот, температур воздуха, осадков, загрязнения атмосферы, атмосферного давления и т. д.) в ГИС можно сформировать векторный слой *изолиний* (рисунок 34). Они создаются в автоматическом режиме. Пользователю лишь остается выбрать интервал, через который они будут строиться, а также, при необходимости, минимальное и максимальное значения изолиний.

Грид-модель земной поверхности, созданная в ГИС, может служить основой построения в автоматическом режиме *морфометрических характеристик рельефа*, таких как экспозиция и крутизна склонов (рисунок 35). По ней также возможно рассчитывать зоны видимости, строить гипсометрические профили и др.

Картирование расстояний средствами растрового ГИС-анализа позволяет определить пространственную взаимосвязь каждой ячейки по отношению к источнику или набору источников. В качестве примера можно привести расчет расстояний по отношению к слою метеостанций (рисунок 36). По данной грид-модели можно проводить оптимизацию сети метеорологических наблюдений территории.



а



б

Рисунок 34 – Пример создания по-grid-модели (а) изолиний (б)

С помощью grid-моделей *плотности* в ГИС анализируется пространственное распределение точечных либо линейных векторных объектов. Примером такого растрового ГИС-анализа может служить расчет общего показателя расчленения территории (рисунок 37).

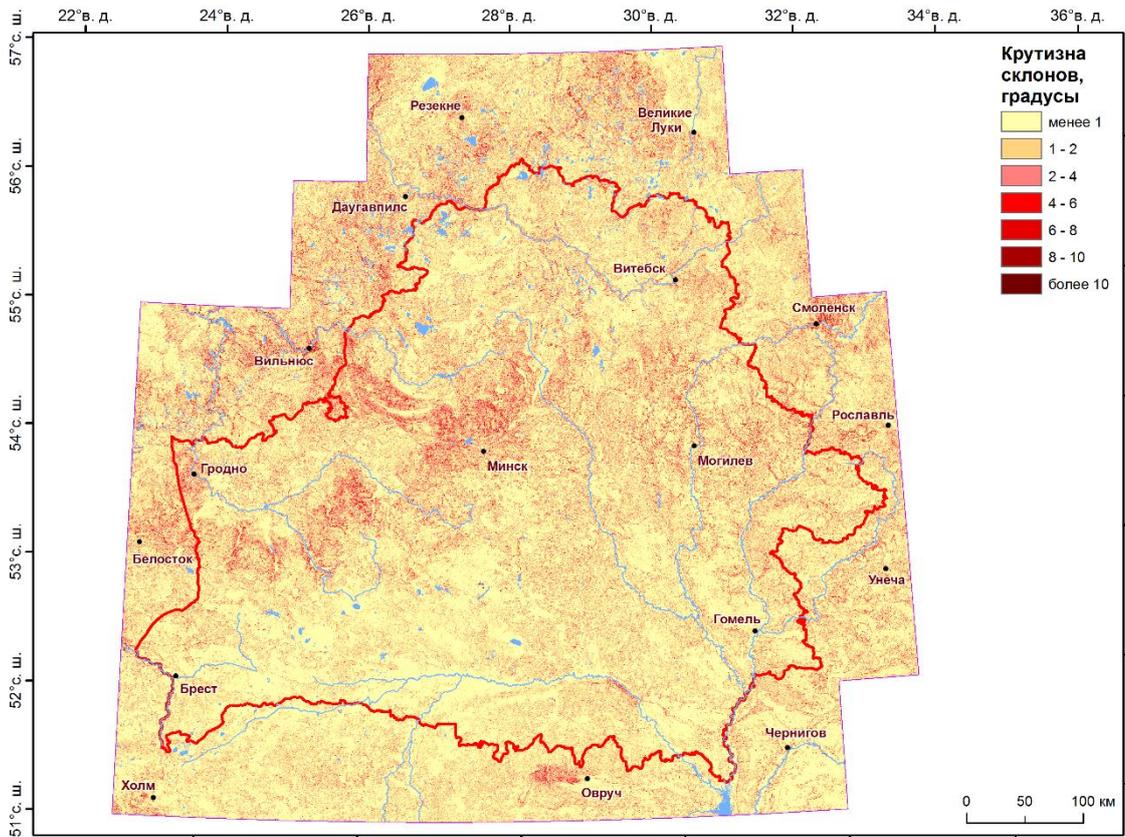


Рисунок 35 – Пример расчета крутизны склонов по грид-модели рельефа

Основными задачами *картографической растровой алгебры* являются переклассификация грид-модели, а также выполнение различных математических и статистических операций с гридами.

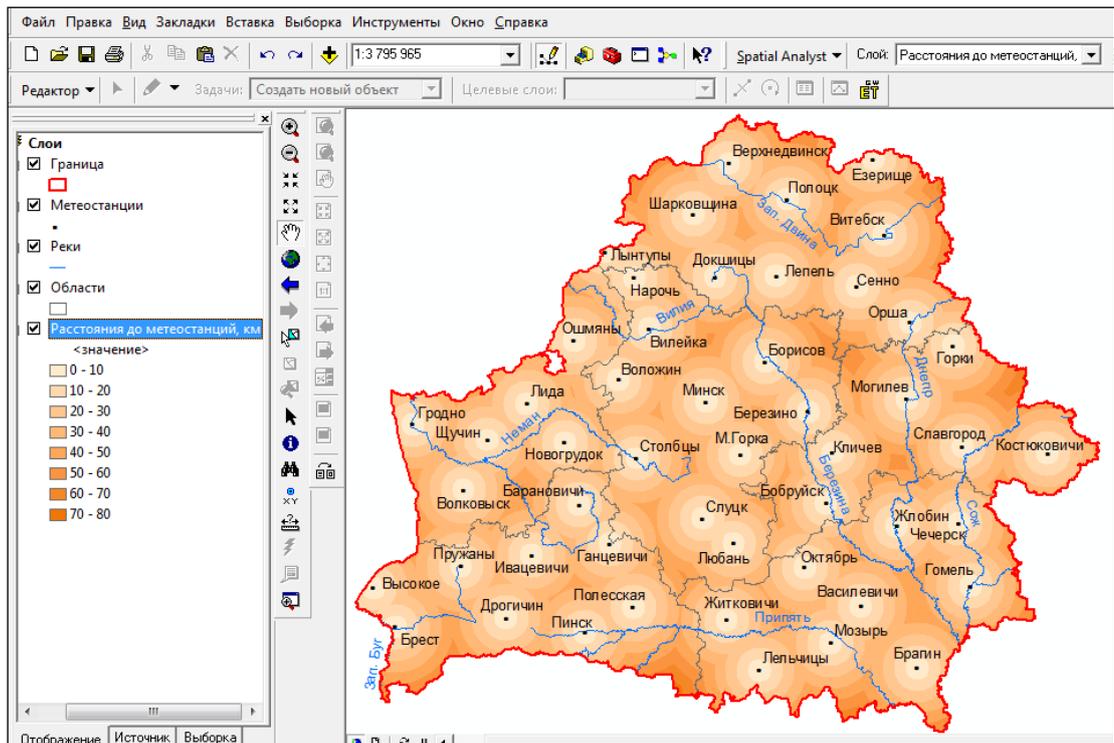


Рисунок 36 – Пример расчета грид-модели расстояний в ГИС

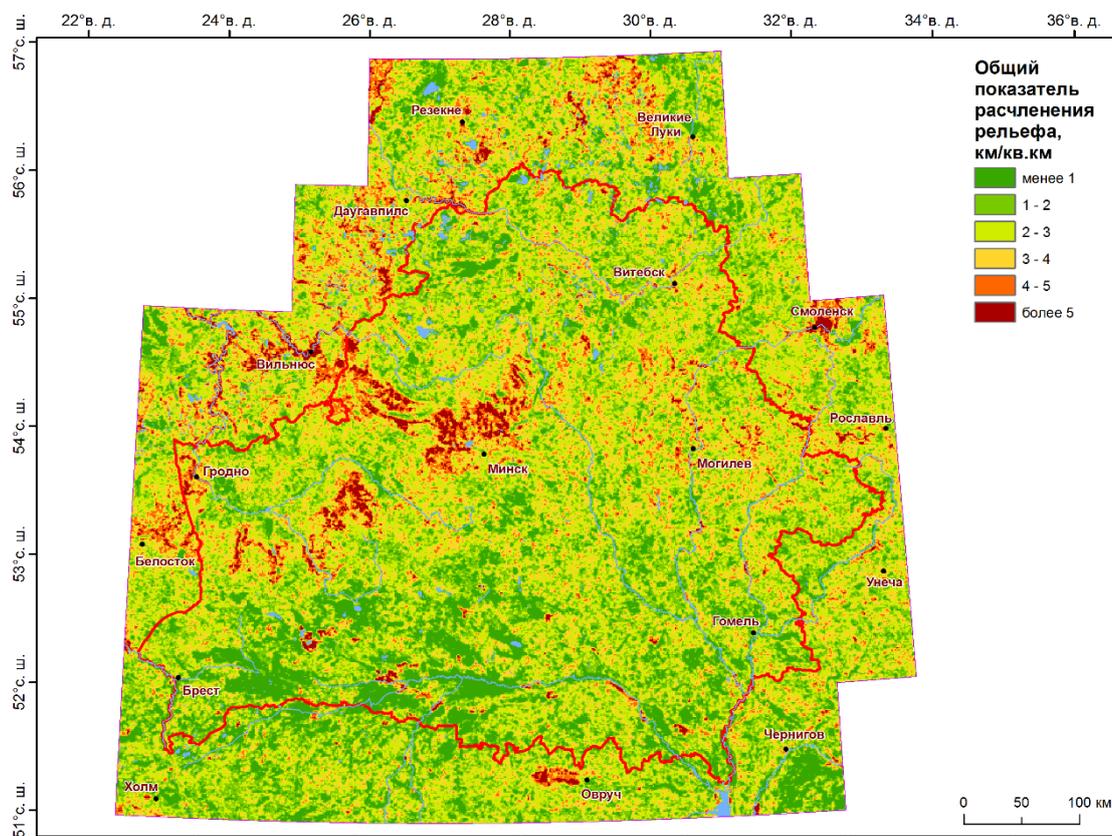


Рисунок 37 – Пример расчета грид-модели плотности

Переклассификация растра означает замену входных значений ячеек новыми выходными значениями на основании новой информации при группировке значений или же при переклассификации значений по общей шкале.

С несколькими растрами можно производить математические вычисления с помощью различных операторов и функций, создавать запросы выбора ячеек, а также выполнять статистику по ячейкам, по окрестности и зональную статистику.

1.11. Трехмерное геоинформационное моделирование

Требования к пространственной геоинформации, содержащейся в цифровых картах, географических базах данных и ГИС, в целом постоянно повышаются. Потребность в реалистичном отображении окружающего мира увеличивает значимость *трехмерного (3D) моделирования*. 3D-модели облегчают планирование, контроль и принятие решений во многих отраслях деятельности человека.

В ГИС фотореалистичная 3D-сцена может создаваться на основе различных источников геопространственной информации: аэро- и космической съемки местности, фото- и видеосъемки объектов, геодезических измерений, полевых обследований, лазерного или сонарного сканирования, существующих картографических материалов и ГИС-данных.

Особенно удобно трехмерное моделирование для отображения и анализа в таких сферах, как: геология, геоморфология, гидрометеорология, геодезия и картография, экология, проектирование инженерных сооружений, транспорт и др.

В качестве примера реализованных алгоритмов по представлению трехмерных моделей географических объектов можно указать на модуль ГИС ArcGIS – *3D Analyst*. Он предоставляет сложные функции трехмерного и перспективного отображения, моделирования и анализа поверхностей (рисунок 38). С помощью специальных инструментов можно вращать, а также просматривать поверхность «в полете» над ней, создавать трехмерные анимации. К 3D-поверхностям можно осуществлять запросы и «привязывать» базы данных.

Модуль выполняет такие функции представления и аналитики для географических объектов, как создание реалистичных моделей поверхности по разного рода исходным данным; определение высот поверхности в любой ее точке; определение того, что можно увидеть из данной точки обзора (взгляда); расчет объемов между двумя поверхностями.

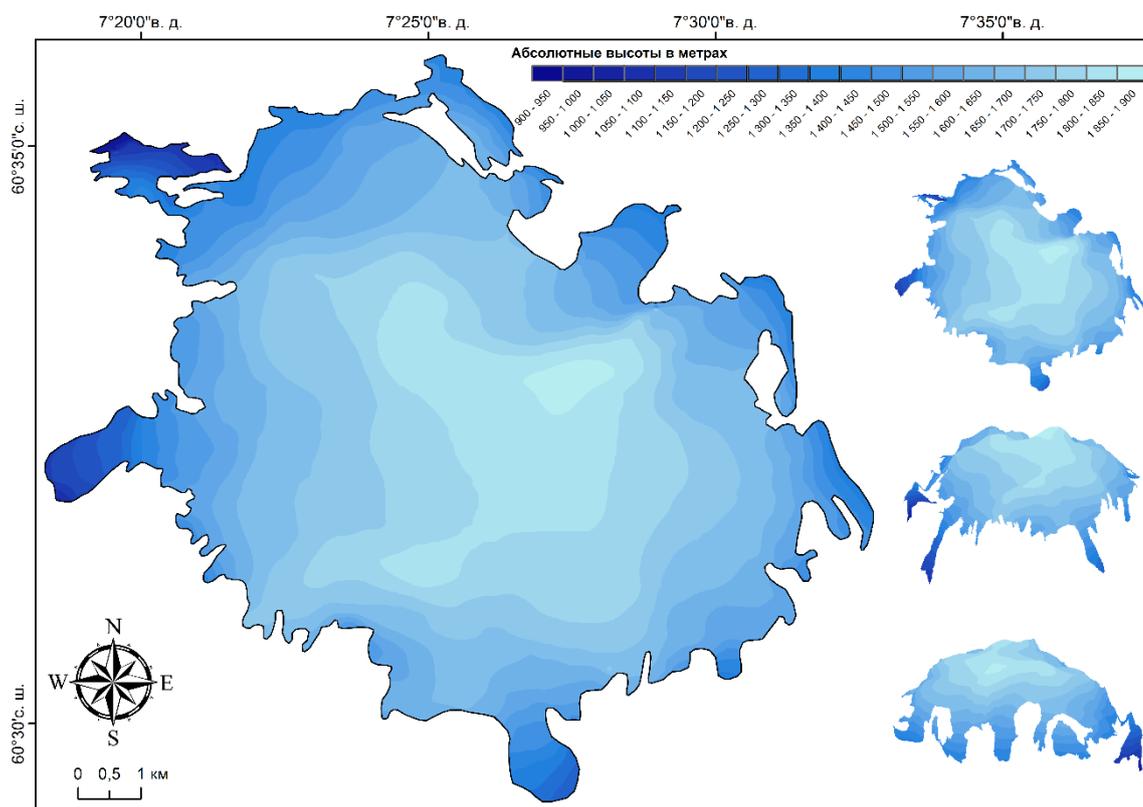


Рисунок 38 – Трехмерная модель ледника Хардангерйокулен (Норвегия)

ГИС-объекты в 3D-сцене могут быть представлены с помощью разнообразных 3D-символов, таких как дома, автомобили или нефтяные вышки для точечных объектов, текстура травянистой, водной и других поверхностей для полигональных объектов, трубопроводы и другие линейные текстуры для протяженных линейных объектов.

Для создания поверхностей могут использоваться разнообразные исходные данные. По этим поверхностям 3D Analyst может рассчитывать и показывать высоты точек, профили, изолинии, рельеф с отмывкой, линии наибольших уклонов и др.

Эта новая информация, полученная с помощью функций анализа поверхности, может использоваться сама по себе или вместе с новыми пространственными данными и функциями являться источником данных для проведения моделирования в ГИС-системах. Помимо средств создания и анализа поверхностей, модуль 3D Analyst предоставляет мощный инструментарий для создания и визуализации трехмерных перспективных изображений. Перспективные изображения более информативны, их легче воспринимать и интерпретировать.

Трехмерные перспективные сцены используют для отображения непрерывных пространственных явлений или процессов в виде трехмерных поверхностей. Их также можно дополнять векторными или растровыми 3D-объектами.

Чтобы создать перспективную 3D-сцену, необходимо задать три параметра, которые определяют ее отображение:

- положение наблюдателя;
- вытягивание по вертикали (так называемый *z*-коэффициент или *z*-фактор);
- положение источника освещения.

От *положения наблюдателя* зависит, какие геообъекты будут видны в конкретном 3D-виде. Оно подбирается опытным путем средствами вращения вида сцены до тех пор, пока ситуация не будет устраивать ГИС-специалиста. Поскольку вид трехмерной сцены будет поворачиваться относительно оси север – юг, важно показать на ней специальный символ стрелки севера.

При создании перспективных 3D-сцен необходимо определить специальный параметр (*z*-фактор), который позволяет усиливать изменения отображаемой поверхности по высоте.

Положение источника освещения в сочетании с влиянием *z*-фактора определяет моделируемые тени на перспективном 3D-виде и, следовательно, четкость отображения на нем геообъектов. Для задания положения источника света необходимо определить две величины: направление освещения и его угол.

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторные работы

Лабораторная работа 1. Изучение пространственных данных в ГИС ArcGIS

Цель работы: знакомство с интерфейсом приложения ArcMap ГИС ArcGIS, визуализация и изучение пространственных данных в ArcMap.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 2. Геопривязка растровых изображений

Цель работы: освоить основные алгоритмы выполнения географической привязки растровых изображений в ArcGIS.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 3. Создание базы геоданных

Цель работы: освоить алгоритмы создания персональной базы геоданных в среде ArcCatalog ГИС ArcGIS, научиться создавать векторные полигональные, линейные и точечные объекты и их атрибуты.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 4. Автоматическая векторизация рельефа

Цель работы: усвоить алгоритмы автоматической векторизации растровых изображений (на примере растра рельефа) и создания трехмерной модели рельефа.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015.

– 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 5. Создание и анализ гипсометрической GRID-модели

Цель работы: усвоить алгоритмы интерполяции и анализа поверхностей при создании гипсометрической GRID-модели участка Логойского района Минской области.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 6. Анализ расстояний с помощью GRID-моделей

Цель работы: освоить операции растрового ГИС-анализа на примере поиска наилучшего места для отдыха и расчета оптимального пути.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 7. Создание TIN-моделей и трехмерное моделирование

Цель работы: освоить алгоритм создания 3D-моделей местности с помощью модуля 3D Analyst ГИС ArcGIS.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 8. Использование векторного ГИС-анализа при выявлении формантов ойконимов

Цель работы: освоить алгоритмы выполнения операций элементарного и расширенного пространственного ГИС-анализа при проведении формантного анализа ойконимов.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 9. Использование векторного ГИС-анализа при поиске места для строительства станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод

Цель работы: освоить алгоритмы выполнения операций элементарного и расширенного пространственного ГИС-анализа, пространственной статистики при поиске места для строительства в городской среде станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 10. Растровый гидрологический ГИС-анализ

Цель работы: освоить алгоритмы растрового гидрологического ГИС-анализа.

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

Лабораторная работа 11. Создание и компоновка карт для атласа области

Цель работы: усвоить алгоритмы работы с видом компоновки (создание математической основы карты, элементов вспомогательного оснащения и дополнительных данных).

Методика выполнения работы приведена в учебно-методическом пособии Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович, Н. В. Жуковская, О. М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 167 с. [Электронный ресурс] / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/171595>.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Перечень тестов и контрольных заданий

Тесты и контрольные задания проводятся в течение пятого и шестого семестров по следующим темам:

1. Введение в ГИС;
2. Растровый способ цифрового представления пространственных данных в ГИС;
3. Векторный способ цифрового представления пространственных данных в ГИС. Особенности редактирования векторных данных;
4. GRID и TIN как способы цифрового представления пространственных данных в ГИС;
5. Основы ГИС-анализа;
6. Компонировка и дизайн карт в ГИС.

Примеры тестовых заданий по указанным темам:

1. Основными компонентами ГИС являются:
 - 1) компьютер, его периферия, программное обеспечение ГИС
 - 2) данные дистанционного зондирования
 - 3) геопространственные данные
 - 4) ГИС-специалисты
 - 5) регламент
 - 6) сканеры.
2. Из каких подсистем должна состоять ГИС?
 - 1) хранения, обновления и управления данными
 - 2) управления, анализа и моделирования
 - 3) сбора, подготовки и ввода данных хранения, визуализации и вывода данных
 - 4) обработки, моделирования и анализа данных
 - 5) контроля, визуализации и вывода данных.
3. Какие устройства относятся к устройствам вывода данных?
 - 1) плоттер
 - 2) сканер
 - 3) принтер
 - 4) монитор
 - 5) дигитайзер.
4. В чем выражаются координаты проекции UTM (универсальная поперечная проекция Меркатора)?
 - 1) метрах
 - 2) градусах-минутах-секундах
 - 3) десятичных градусах.

5. Файл координатной привязки растрового изображения в формате TIFF имеет следующее расширение:

- 1) *.jgw
- 2) *.bpw
- 3) *.tfw.

6. Создание топологии в базе геоданных ArcGIS включает в себя задание трех наборов параметров. Какие это параметры?

- 1) атрибутивные домены
- 2) кластерные допуски
- 3) правила
- 4) подтипы
- 5) ранги.

Какая функция анализа GRID-моделей в ГИС позволяет вычислять направление наиболее крутого уклона от каждой ячейки к соседним?

- 1) уклон
- 2) экспозиция склонов
- 3) насыти/выемки
- 4) видимость.

7. Какие пространственные данные являются источником для построения узлов в TIN-модели?

- 1) линии перегиба
- 2) вырезающие полигоны
- 3) масс-точки
- 4) замещающие полигоны.

8. Запустив какие ГИС-инструменты можно выполнять задачи геообработки?

- 1) окно визуализации
- 2) диалоговое окно
- 3) модель
- 4) поисковая строка
- 5) командная строка
- 6) скрипт.

9. Какие методы символизации применимы для показа на ГИС-карте полигональных слоев?

- 1) единый символ
- 2) уникальные значения
- 3) градуированная цветовая шкала
- 4) градуированные символы
- 5) комплексная карта
- 6) картодиаграмма
- 7) изолинии.

10. К базовым пространственным данным инфраструктуры пространственных данных относятся:

- 1) геологические данные
- 2) ортофотопланы, космоснимки
- 3) цифровые модели рельефа

- 4) данные о почвенном покрове
- 5) данные земельного кадастра
- 6) данные водного кадастра
- 7) топографические карты
- 8) опорная геодезическая сеть.

3.2. Вопросы к экзамену по дисциплине

Теоретические вопросы:

1. Определение ГИС. Основные компоненты и функциональные возможности ГИС.
2. История развития аппаратно-программных средств ГИС. Классификации ГИС.
3. Источники данных для ГИС: географические карты, данные дистанционного зондирования,
4. Источники данных для ГИС: системы спутникового позиционирования, данные САПР, геодезические технологии, базы данных.
5. Аппаратные средства ГИС. Эволюция компьютерного аппаратного обеспечения. Классификация компьютеров.
6. Аппаратные средства ГИС. Процессор, первичная память, вторичная память, коммуникационные устройства.
7. Аппаратные средства ГИС. Периферийные устройства ввода-вывода данных.
8. Функциональная классификации программного обеспечения ГИС. Обзорная характеристика комплекса программных ГИС-продуктов ArcGIS.
9. Обзорная характеристика дополнительных модулей ГИС ArcGIS.
10. Географические системы координат. Системы координат проекций.
11. Растровая модель представления пространственных данных в ГИС. Достоинства и недостатки растровой модели. Наиболее распространенные растровые форматы представления пространственных данных в ГИС.
12. Цветовые модели, используемые для отображения полноцветных растров. Геопривязка растровых изображений.
13. Векторная модель как способ представления пространственных данных в ГИС. Особенности организации связи между векторными объектами: векторно-нетопологическая модель, векторно-топологическая модель. Геореляционные и объект-ориентированные модели векторных данных.
14. Обзор векторного формата данных ГИС ArcGIS - базы геоданных.
15. Особенности символизации векторных геоданных.
16. Способы классификации количественных геоданных в ГИС.
17. Grid-модель как способ представления пространственных данных в ГИС.
18. Пространственный ГИС-анализ, основанных на grid-моделях: анализ расстояний, анализ плотности.
19. Пространственный ГИС-анализ, основанных на grid-моделях: выполнение анализа гипсометрических поверхностей.

20. TIN-модель как способ представления пространственных данных в ГИС. Источники данных для построения TIN-модели.

21. Понятие ГИС-анализа. Основные операции векторного и растрового ГИС-анализа.

22. Элементарный пространственный ГИС-анализ.

23. Пространственная статистика в ГИС.

24. Оверлейные операции в ГИС.

25. Анализ близости в ГИС.

26. Переклассификация и районирование с помощью ГИС-технологий.

27. Генерализация векторных геообъектов в ГИС.

28. Геообработка данных в ГИС.

29. Основные операции сетевого анализа. Задачи сетевого анализа.

30. Геокодирование в ГИС.

31. Основные функции картографической растровой алгебры. Статистика по ячейкам растра, по окрестности, зональная статистика.

32. Анализ гипсометрических поверхностей в ГИС. Гидрологическое ГИС-моделирование.

33. Вывод данных из среды ГИС. Сравнение процесса создания карты средствами традиционной картографии и ГИС.

34. Вывод данных из среды ГИС. Общие рекомендации по созданию карты. Основные элементы карты.

35. Вывод данных из среды ГИС. Варианты оформления на карте векторных слоев, поверхностей GRID и TIN.

36. Вывод данных из среды ГИС. Нетрадиционный и некартографический вывод пространственной информации из ГИС.

37. Вывод данных из среды ГИС. Публикация ГИС-проекта в среду ArcReader. Публикация ГИС-проекта в среду Internet.

38. Вывод данных из среды ГИС. Особенности работы с вьювером ArcGIS Online.

39. Инфраструктура пространственных данных. Концепция глобальной и региональной и национальной инфраструктуры пространственных данных.

40. Концепция национальной инфраструктуры пространственных данных. Состояние проблемы в Республике Беларусь.

Практические задания:

1. Геопривязка растра в ГИС ArcGIS.

2. Создание базы геоданных, построение топологии, создание атрибутивных доменов и подтипов в ГИС ArcGIS.

3. Создание точечных, линейных и полигональных объектов по геопривязанному растру в ArcGIS.

4. Автоматическая векторизация в ГИС ArcGIS.

5. Редактирование объектов с использованием топологии карты, применение топологии базы геоданных для устранения ошибок в данных в ГИС ArcGIS.

6. Интерполяция грид-моделей в ГИС ArcGIS.

7. Анализ гипсометрических грид-моделей в ГИС ArcGIS.

8. Построение грид-моделей расстояний в ГИС ArcGIS.
9. Создание TIN-моделей в ГИС ArcGIS. Трехмерное моделирование в ГИС ArcGIS.
10. Элементарный пространственный ГИС-анализ.
11. Построение буферных зон.
12. Построение полигонов Тиссона.
13. Анализ данных на основании оверлейных операций.
14. Растровый гидрологический ГИС-анализ.
15. Компоновка и дизайн карт в ГИС ArcGIS.

3.3. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа ведется на основании Положения о самостоятельной работе студентов (курсантов, слушателей), утвержденном Министерством образования Республики Беларусь от 06 апреля 2015 г.

По изучаемой дисциплине планируется:

- поиск (подбор) и обзор литературы и электронных источников по индивидуально заданной проблеме курса;
- изучение тем и проблем, не выносимых на лекции;
- научные доклады.
- научно-исследовательские работы;
- подготовка к участию в конференциях и конкурсах.

Перечень рекомендуемых средств диагностики

- коллоквиумы;
- электронные тесты;
- проверка расчетно-графических работ;
- оценивание на основе модульно-рейтинговой системы;
- оценивание на основе проектного метода.

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановлением Министерства образования Республики Беларусь № 53 от 29.05.2012 г.).
2. Положение о рейтинговой системе оценки знаний студентов по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ № 189–ОД от 31.03.2020).
3. Критерии оценки знаний студентов по 10-бальной шкале (Письмо Министерства образования Республики Беларусь №21-04-01/105 от 22.12.2003).

3.4. Перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов

Тема № 4. GRID и TIN как способы цифрового представления пространственных данных в ГИС.

Тематика УСР – создание TIN-моделей и трехмерное моделирование в ГИС ArcGIS – 4 часа (ДО).

По исходным данным своего варианта студент формирует TIN-модель гипсометрической поверхности, представляет ее в трёхмерном виде, производит наложение трехмерных объектов природных и антропогенных объектов местности.

Форма контроля – письменный отчет.

Тема № 7. Основные направления использования ГИС в науке и практике.

Тематика УСР – создание в среде ГИС ArcGIS индивидуального ГИС-проекта выбранной тематики – 4 часа (ДО).

Студент выбирает тематику персонального ГИС-проекта, выполняет поиск или создание собственными силами исходных данных для выполнения проекта, производит построение моделей представления данных, выполняет аналитические пространственные операции, осуществляет дизайн и компоновку готового проекта.

Форма контроля – индивидуальный ГИС-проект.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине для специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)»

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля Знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия расту- дента	Иное		
1	Введение в ГИС	2			4			
2	Растровый способ цифрового представления пространственных данных в ГИС	2			4			тестирование, отчеты по лабораторным работам
3	Векторный способ цифрового представления пространственных данных в ГИС. Особенности редактирования векторных данных	2			10			тестирование, отчеты по лабораторным работам
4	GRID и TIN как способы цифрового представления пространственных данных в ГИС	2			6	4 (ДО)		тестирование, отчеты по лабораторным работам
5	Основы ГИС-анализа	4			14			тестирование, отчеты по лабораторным работам, письменный отчет по управ. самост. работе
6	Компоновка и дизайн карт в ГИС	2			8			тестирование, отчеты по лабораторным работам

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Формы контроля Знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия расту- дента	Иное		
7	Основные направления использования ГИС в науке и практике	2					4 (ДО)	тестирование, отчеты по лабораторным работам

4.2. Рекомендуемая литература

Основная

1. ГИС-технологии : учеб.-метод. пособие / Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская ; БГУ, фак. географии и геоинформатики, каф. почвоведения и ГИС. – Минск : БГУ, 2020. – 309 с.
2. ГИС-технологии : методические рекомендации к выполнению лабораторных работ / И.А. Красовская, А.Н. Галкин, Д.М. Курлович. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2016. – 54 с.

Дополнительная

3. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. – М. : ГИС Ассоциация, 1999. – 205 с.
4. ГИС-технологии: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ: в 2 ч. / сост.: И.А. Красовская, Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. – Ч. 1. – 51 с.
5. ГИС-технологии: методические рекомендации к выполнению лабораторных работ: в 2 ч. / сост.: И.А. Красовская, Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская. – Витебск: ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. – Ч. 2. – 55 с.
6. Курлович, Д.М. Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д.М. Курлович, Н.В. Жуковская, О.М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 160 с.
7. Красовская, И.А. ГИС-технологии : курс лекций / И.А. Красовская, Д.М. Курлович, А.Н. Галкин. – Витебск : ВГУ имени П.М. Машерова, 2015. – 52 с.

4.3. Электронные ресурсы

8. Учебная программа по учебной дисциплине «ГИС-технологии» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/244984> . – Дата доступа: 23.12.2020.
9. Самардак, А.С. Геоинформационные системы: Учебное пособие / А.С. Самардак [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://window.edu.ru/resource/012/41012/files/dvgu133.pdf>. – Дата доступа: 23.12.2020.
10. GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://gis-lab.info/>. – Дата доступа 23.12.2020.
11. ArcReview // Esri CIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/all.php>. – Дата доступа 23.12.2020.