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

СОГЛАСОВАНО
Заведующий кафедрой
_____Клебанович Н. В.
«23» апреля 2021 г.

СОГЛАСОВАНО
Декан факультета
_____ Курлович Д. М.
«28» апреля 2021 г.

СОГЛАСОВАНО
Председатель
учебно-методической комиссии факультета
_____ Кольмакова Е. Г.
«23» апреля 2021 г.

ГИС-анализ и моделирование

Электронный учебно-методический комплекс

Для специальностей:
1-31 02 03 «Космоаэрокартография»;
1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)»
направлений специальности:
1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)»;
1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)»

Регистрационный № 2.4.2-12/172

Составитель:
Курлович Д. М., кандидат географических наук, доцент

Рассмотрено и утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ 30.06.2021 г., протокол № 7.

Минск 2021

УДК91:004(075.8)
Г 516

Утверждено на заседании Научно-методического совета БГУ
Протокол № 7 от 30.06.2021 г.

Решение о депонировании вынес:
Совет факультета географии и геоинформатики
Протокол № 8 от 28.04.2021 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.

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-анализ и моделирование : электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 03 «Космоаэрокартография»; 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)», направления специальности: 1-56 02 02-01 «Геоинформационные системы (земельно-кадастровые)»; 1-56 02 02-02 «Геоинформационные системы (специальные)» / БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. почвоведения и геоинформационных систем ; сост. Д. М. Курлович . – Минск : БГУ, 2021. – 39 с. : ил. – Библиогр.: с. 39.

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) предназначен для студентов, обучающихся по специальностям 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)».

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

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА 4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 6
1.1. Методы векторного геоинформационного анализа 6
1.2. Методы растрового геоинформационного анализа 15
1.3. Трехмерное геоинформационное моделирование 25
2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ 30
Лабораторная работа 1. Использование векторного ГИС-анализа при выявлении формантов ойконимов 30
Лабораторная работа 2. Использование векторного ГИС-анализа при поиске места для строительства станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод 30
Лабораторная работа 3. Сетевой анализ 30
Лабораторная работа 4. Геокодирование 30
Лабораторная работа 5. Создание карт-анаморфоз 31
Лабораторная работа 6. Растровый гидрологический ГИС-анализ 31
Лабораторная работа 7. Геостатистический ГИС-анализ 31
Лабораторная работа 8. Геообработка пространственных данных с использованием геомоделей ModelBuilder 31
Лабораторная работа 9. Трехмерное моделирование средствами ESRI CityEngine 32
3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ 33
3.1. Перечень тестов и контрольных заданий 33
3.2. Вопросы к экзамену по дисциплине 35
3.3. Организация самостоятельной работы 36
3.4. Перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов 37
4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ 38
4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине для специальности 1-31 02 01 «География (по направлениям)» 38
4.2. Рекомендуемая литература 39
4.3. Электронные ресурсы 39

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Электронный учебно-методический комплекс (ЭУМК) по учебной дисциплине «ГИС-анализ и моделирование» предназначен для реализации требований образовательных программ, образовательного стандарта и учебного плана по специальностям 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)». Его наличие обеспечивает стабильность качества образовательного процесса и является методической основой для обеспечения эффективной самостоятельной работы студентов.

ЭУМК по учебной дисциплине «ГИС-анализ и моделирование» 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-анализ и моделирование».

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

Область применения – на лабораторно-практических занятиях по курсу «ГИС-анализ и моделирование», 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-анализ и моделирование» 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-анализ и моделирование» студент мог овладеть самостоятельно. ЭУМК по учебной дисциплине «ГИС-анализ и моделирование» включает 4 основных раздела: теоретический, практический, контроля знаний и вспомогательный.

Теоретический раздел ЭУМК содержит конспект лекций для теоретического изучения учебной дисциплины, на основе пособия ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

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

ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

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 экзамену, примеры тестовых заданий, перечень заданий и контрольных мероприятий управляемой самостоятельной работы.

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

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

Дисциплина «ГИС-анализ и моделирование» имеет прикладную направленность и ориентирована на формирование системы современных знаний в области геоинформационных систем и технологий. Рассматриваются вопросы функциональных возможностей географических информационных систем по пространственному анализу и моделированию геоданных. Курс разработан на основе ГИС ArcGIS.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1.1. 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 1) в ГИС являются:

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

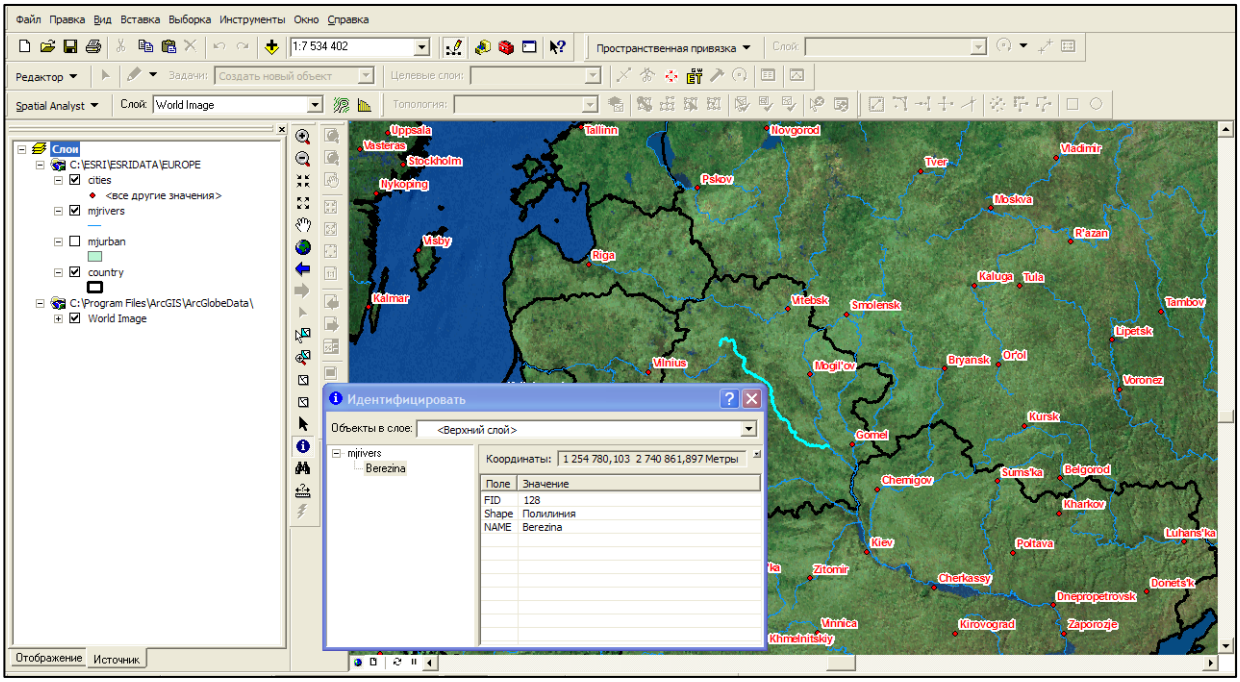


Рисунок 1 – Просмотр в ГИС векторных геообъектов

Основные подоперации *анализа атрибутов* векторов в ГИС включают:

- поиск объекта и определение его местоположения по определенному атрибуту;
- выборку объектов по атрибутам (рисунок 2);
- сортировку объектов по их атрибутам и переключение выборки.

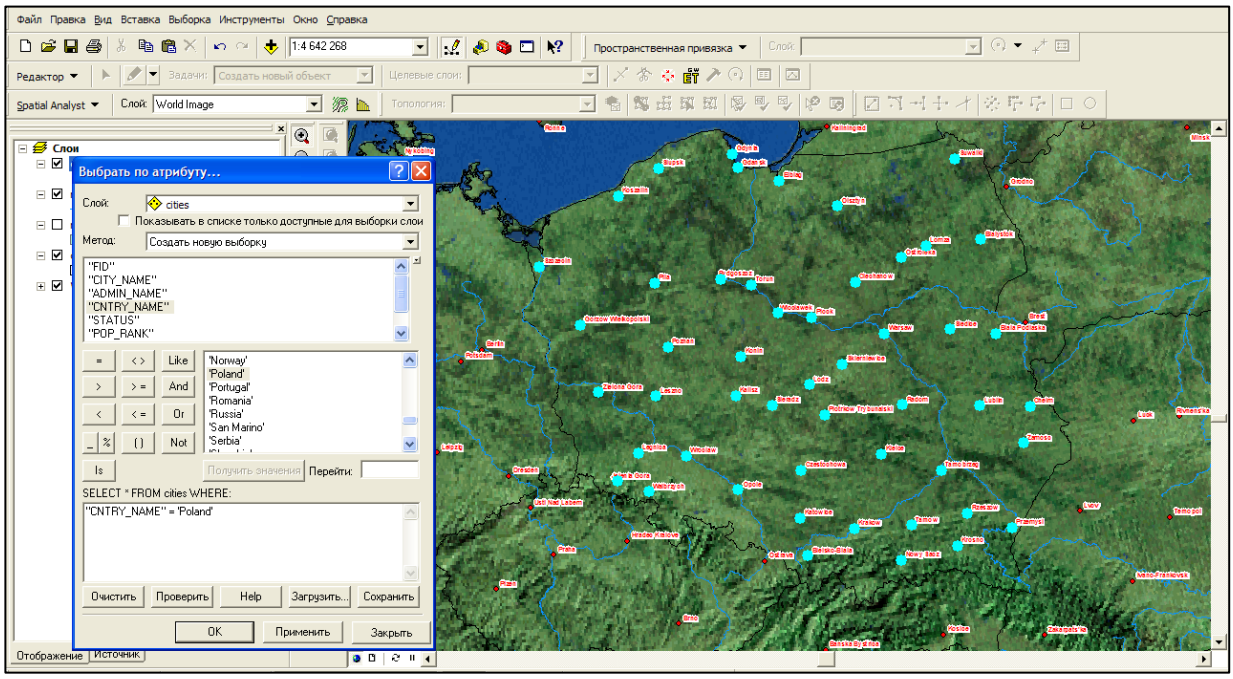


Рисунок 2 – Выборка векторных объектов по определенному атрибуту в ГИС

К *картометрическим действиям над векторами* относят:

- определение расстояний между векторными геообъектами (рисунок 3);
-

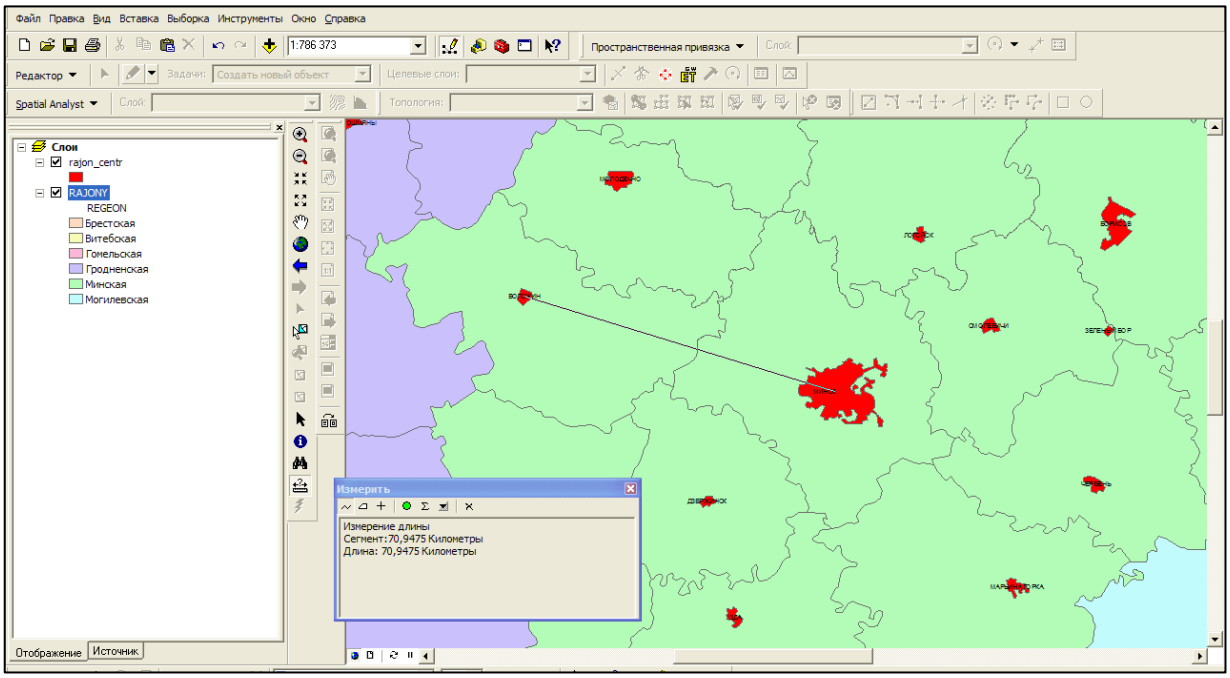


Рисунок 3 – Картометрические операции в ГИС

- 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 4).

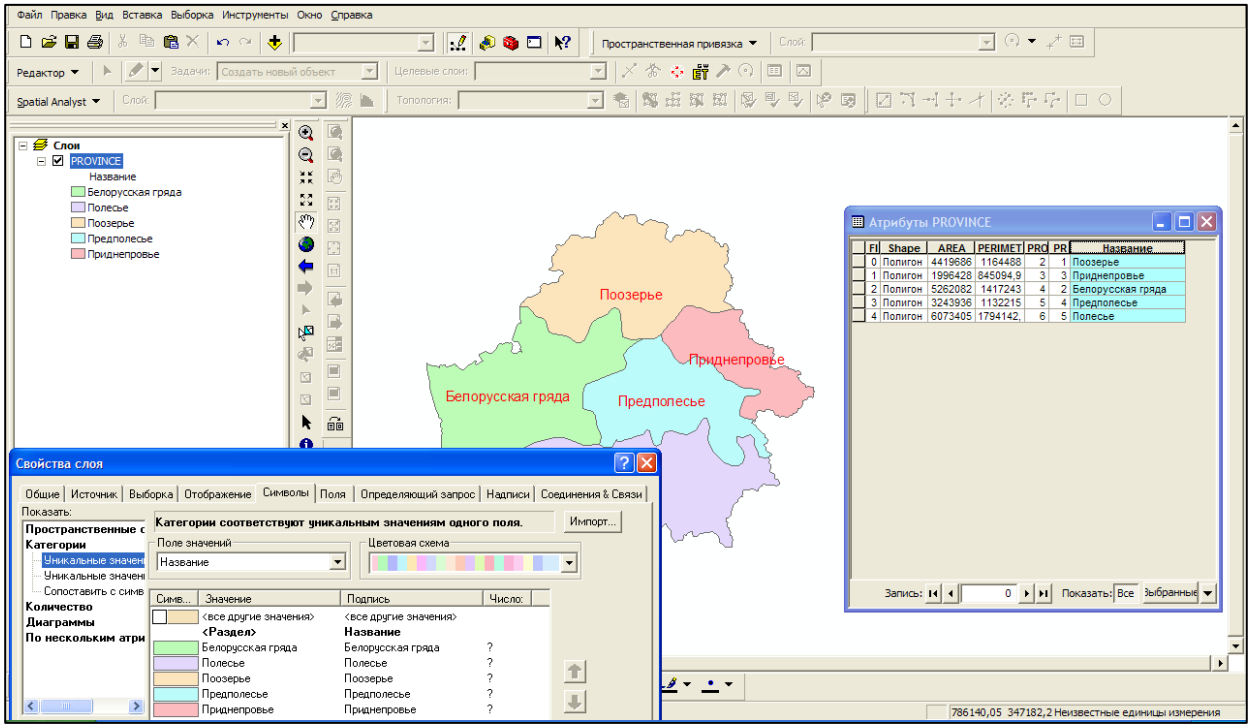


Рисунок 4 – Построение тематической картограммы в ГИС

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 5).

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.

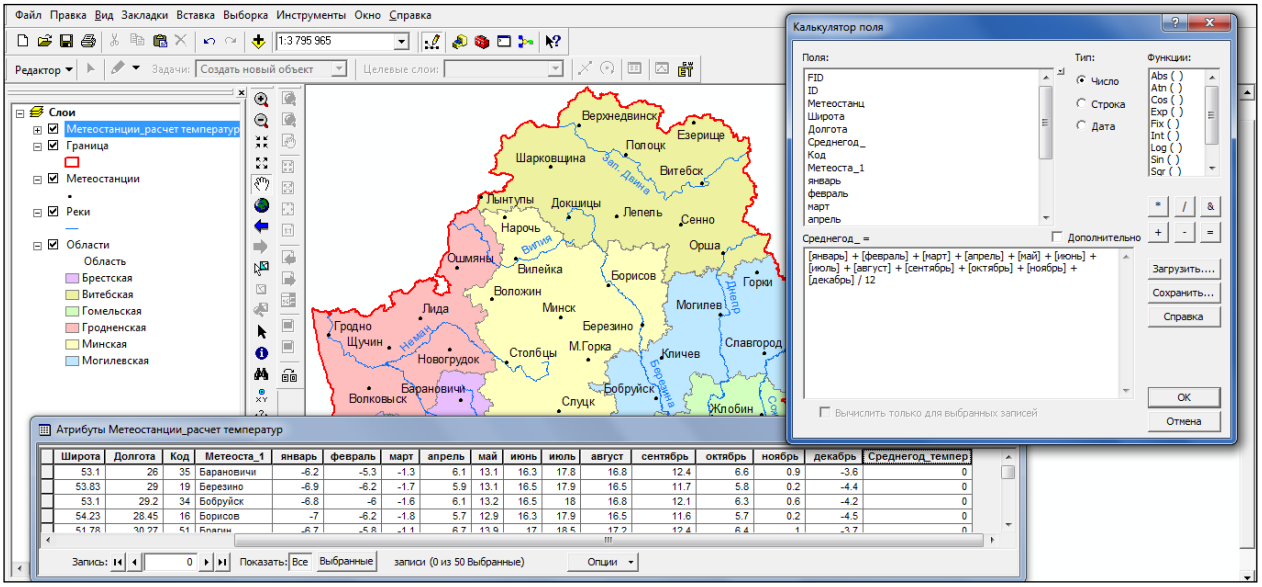


Рисунок 5 – Статистическая обработка атрибутов в ГИС

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 6).

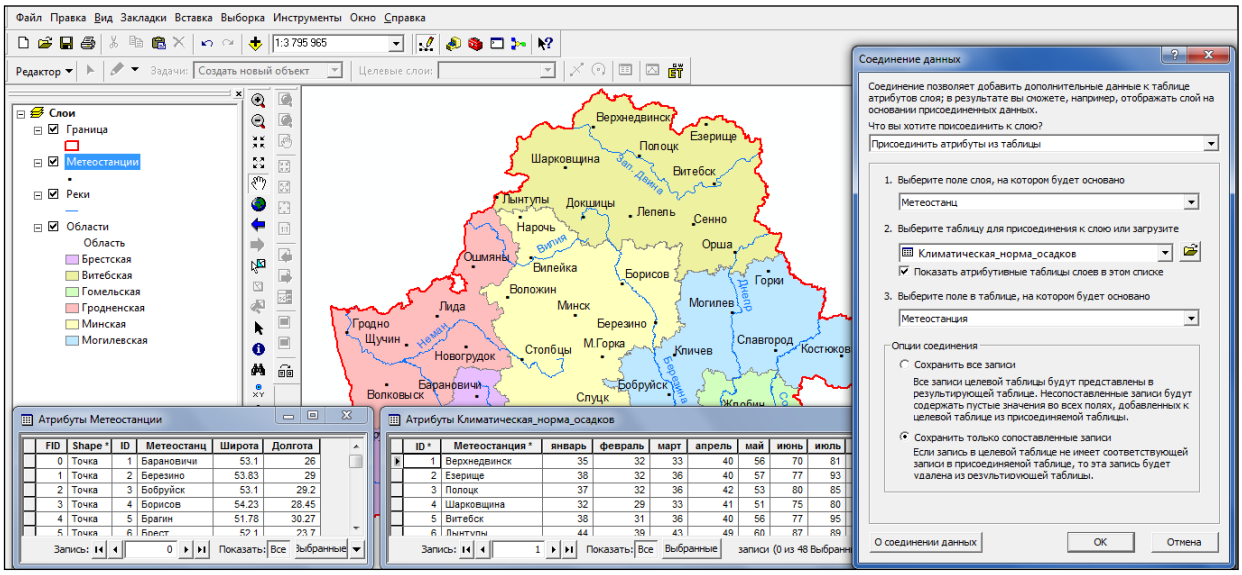


Рисунок 6 – Связывание таблиц в ГИС

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.

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 нединамичным 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 близлежащего 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 (рисунок 7), 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 8).

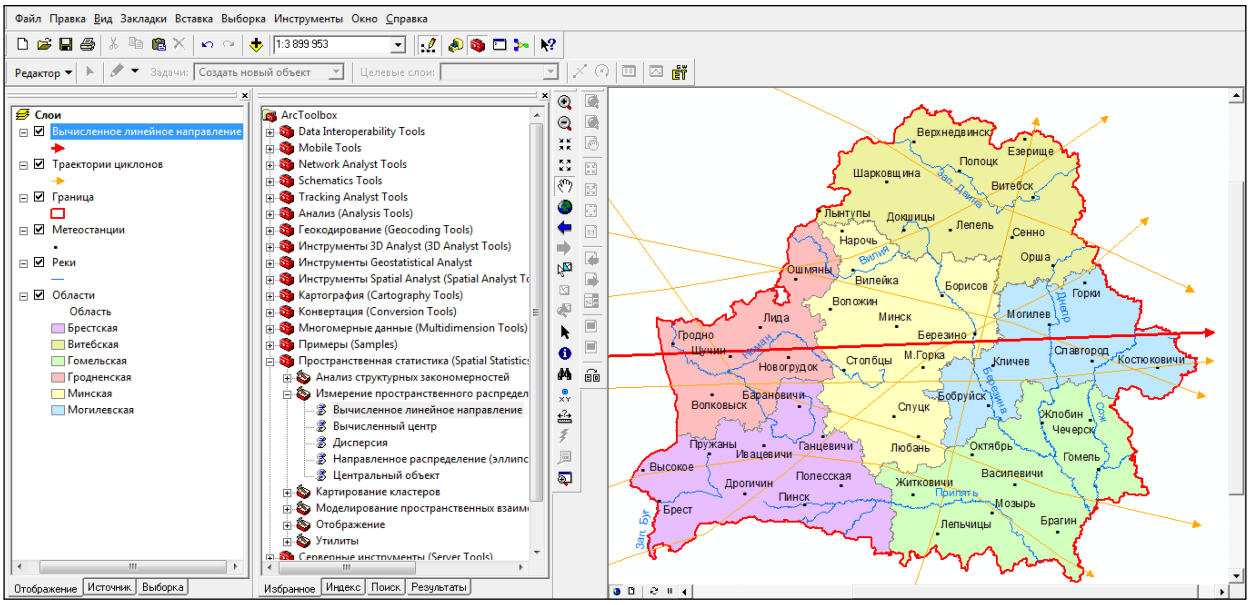


Рисунок 7 – Вычисление среднего линейного направления траекторий циклонов в ГИС

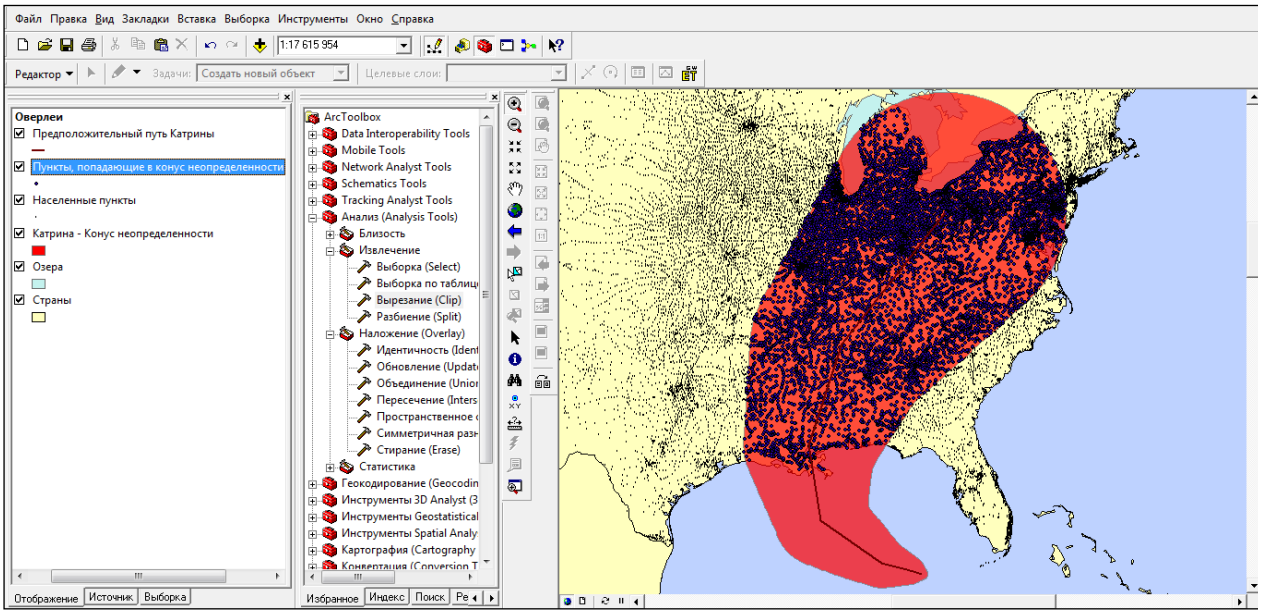


Рисунок 8 – Пример выполнения оверлейной операции вырезания в ГИС

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, водоохранных зон водных объектов, осуществляется с использованием данной функции (рисунок 9).

Построение буферных зон выполняется для точечных, линейных или полигонных векторных геообъектов. В ГИС можно задавать расстояния буферных зон в разных единицах измерения, например, метрах, километрах, единицах стоимости и др.

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 10). Названы они были в честь климатолога Тиссена, который первым с их помощью проинтерполировал сильно неравномерные распределения климатических данных.

Переклассификация (классификационная генерализация) – это аналитическая операция, направленная на преобразование слоя карты по заданному условию за счет перехода от единиц низшего ранга к более высоким (рисунок 11). *Районирование* определяется как процедура вычленения целостных территориальных систем в ГИС, когда внимание исследователей концентрируется на различиях между ними.

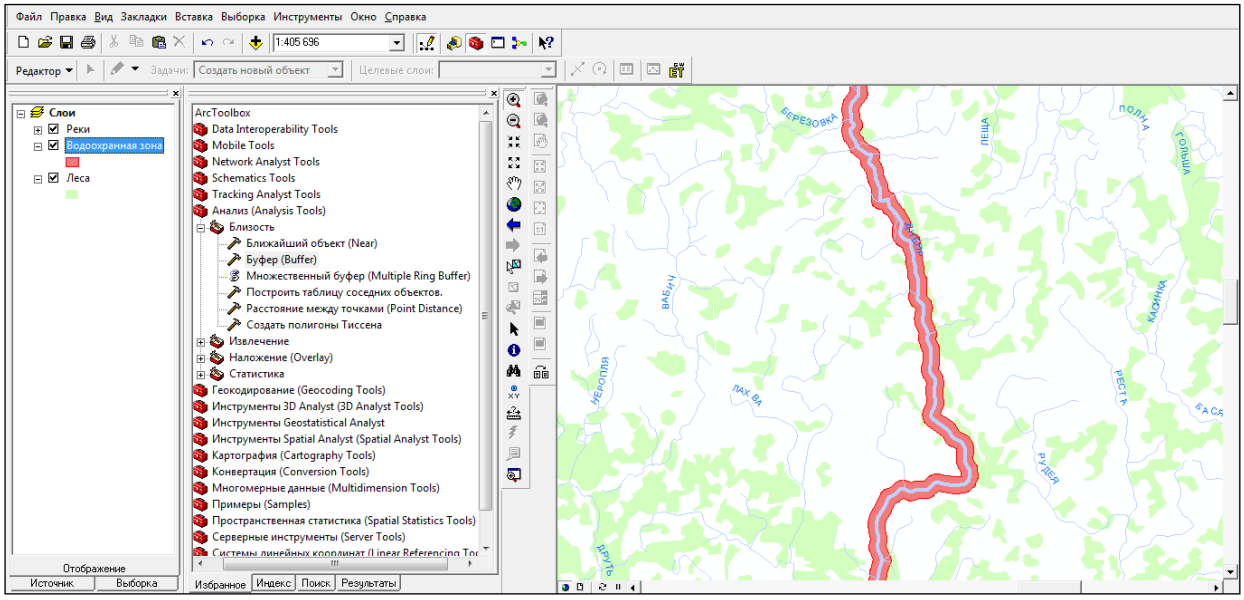


Рисунок 9 – Результат построения буферной зоны в ГИС

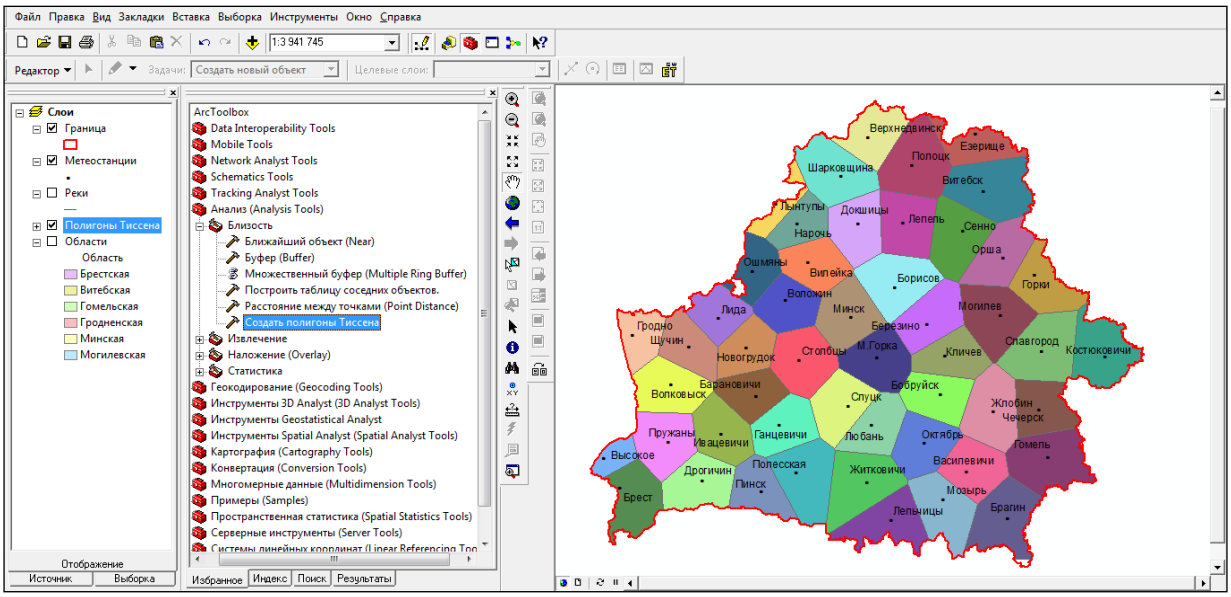


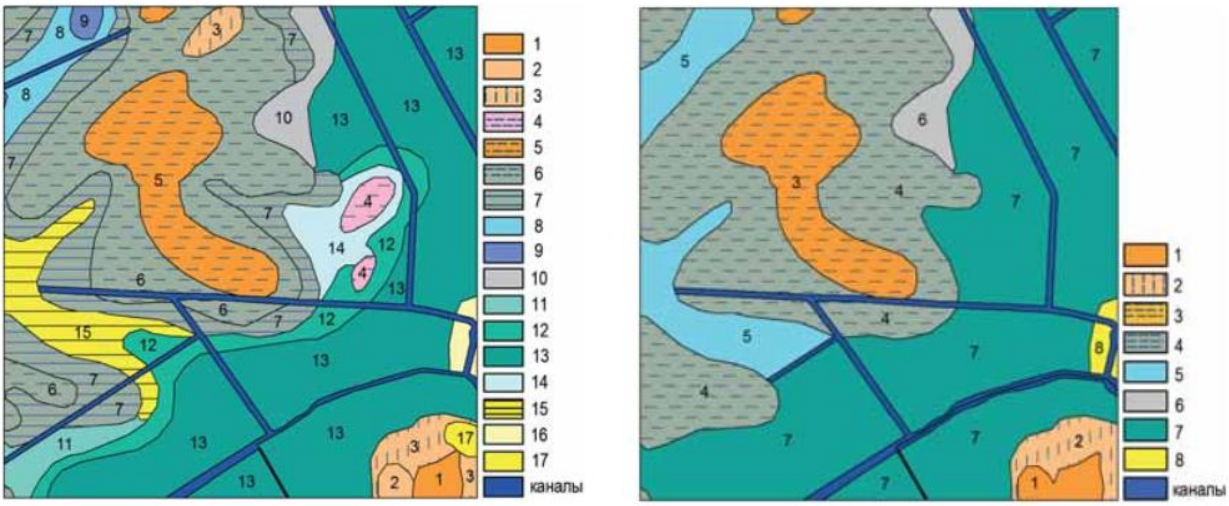
Рисунок 10 – Результат построения полигонов Тиссона по метеостанциям в ГИС

Одной из возможностей ГИС является картографическая *генерализация*. Генерализация в ГИС имеет два аспекта: генерализация базы данных (перекласси-фикация, классификационная генерализация) и непосредственно геометрическая генерализация. Геометрическая генерализация трактуется как упрощение линий или полигонов (рисунок 12).

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 13).

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.



а) *б)*

Рисунок 11 – Цифровая почвенная карта до (а) и после (б) переклассификации

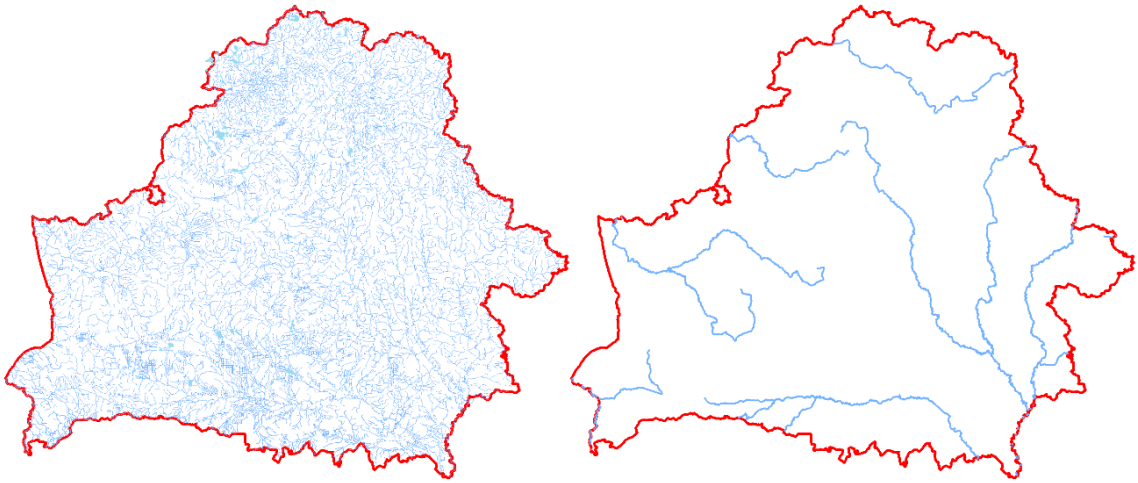


Рисунок 12 – Пример генерализации объектов гидрографии в ГИС

Типичные задачи сетевого анализа: *поиск ближайшего пункта*, *разработка кратчайшего маршрута* (рисунок 14), *определение зон обслуживания (доступности)*, определение местоположения по адресу (*геокодирование*).

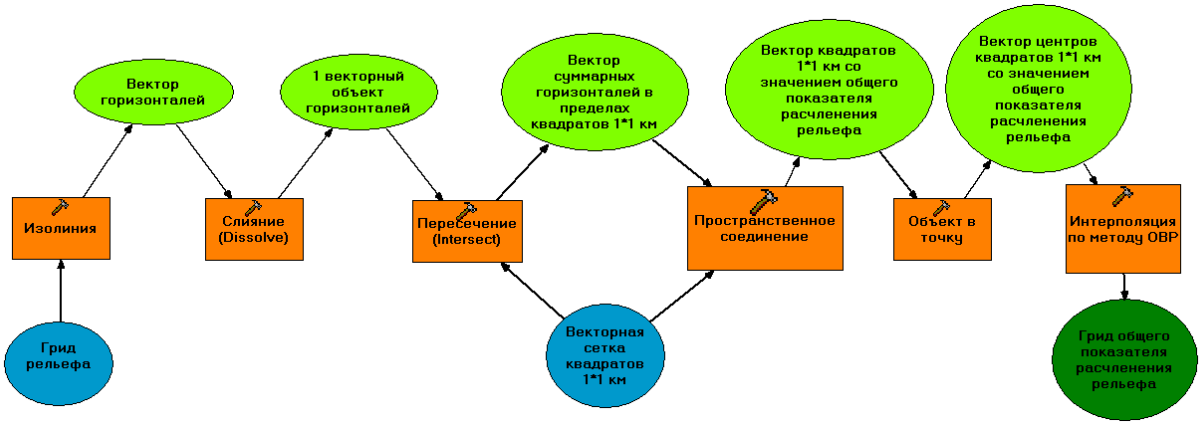


Рисунок 13 – Пример геообработки с помощью модели в ГИС (расчет показателя общего расчленения рельефа)

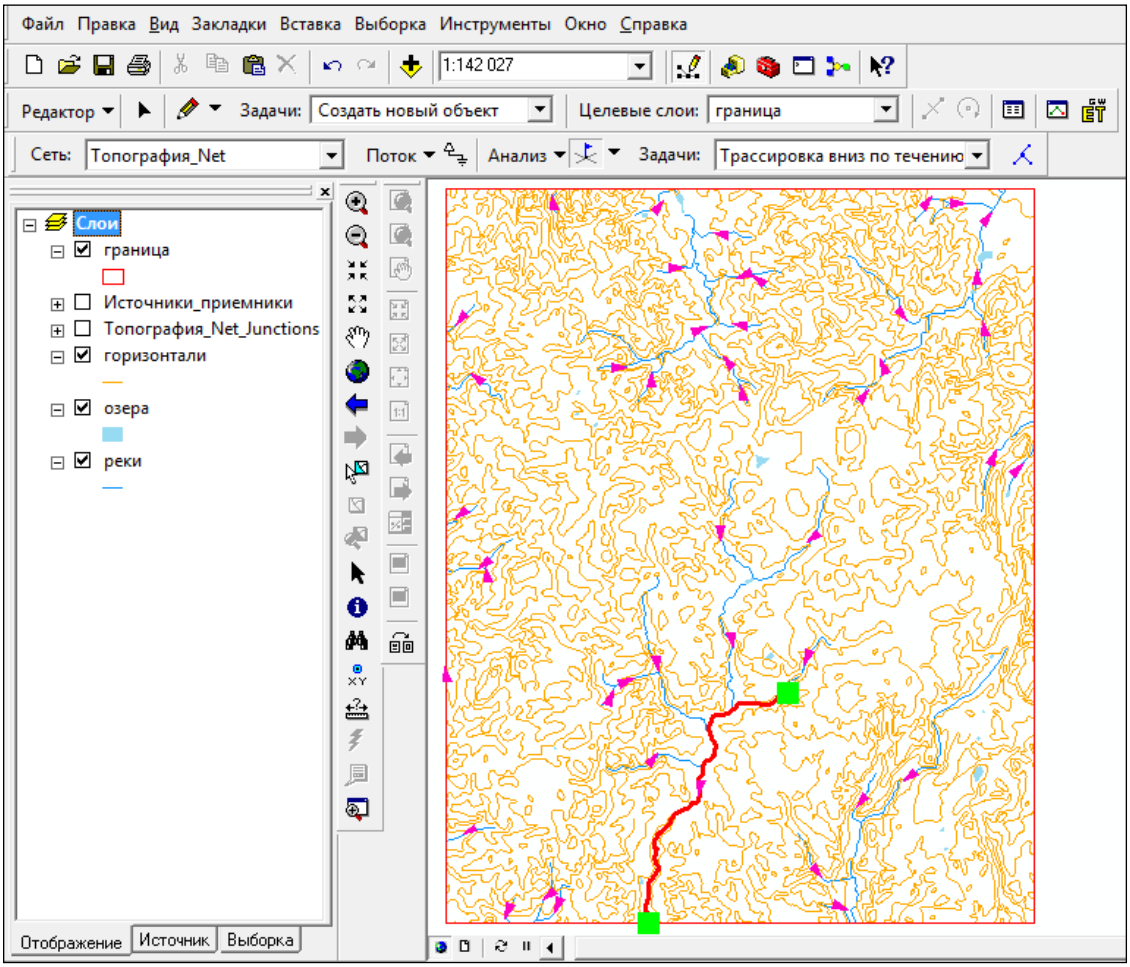


Рисунок 14 – Сетевой анализ гидрографической сети в ГИС

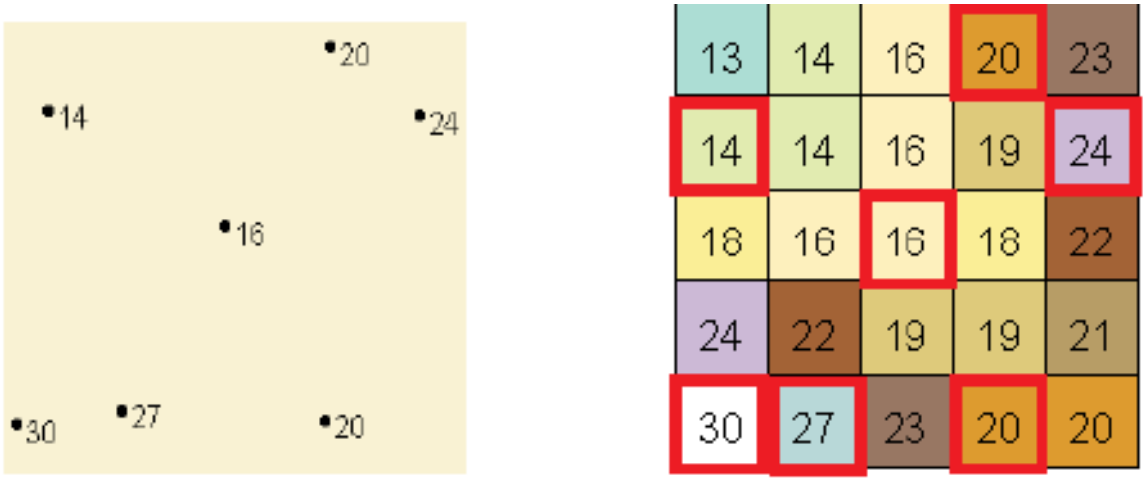
1.2. Методы растрового геоинформационного анализа

Растровый анализ в ГИС используется при обработке растровых моделей и грид-слоев с учетом их атрибутов. Наиболее оправдан растровый анализ в ГИС при работе с непрерывными географическими процессами или явлениями.

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;
- автоматизированное дешифрирование растров, генерализация результатов дешифрирования.

Интерполяция рассчитывает значения ячеек грида на основании ограниченного числа точек измерений (рисунок 15). 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.



а *б*

Рисунок 15 – Пример создания интерполяционной грид-модели (б) по точечной теме (а)

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 16).

Сплайн рассчитывает значения ячеек на основе математической функции, минимизирующей кривизну поверхности, вычисляя наиболее ровную поверхность, точно проходящую через все точки измерений (рисунок 17). 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 18). Пошаговый процесс включает в себя поисковый статистический анализ данных, моделирование вариограммы, создание поверхности и (дополнительно) изучение точности и достоверности полученной поверхности.

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 таковым 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).

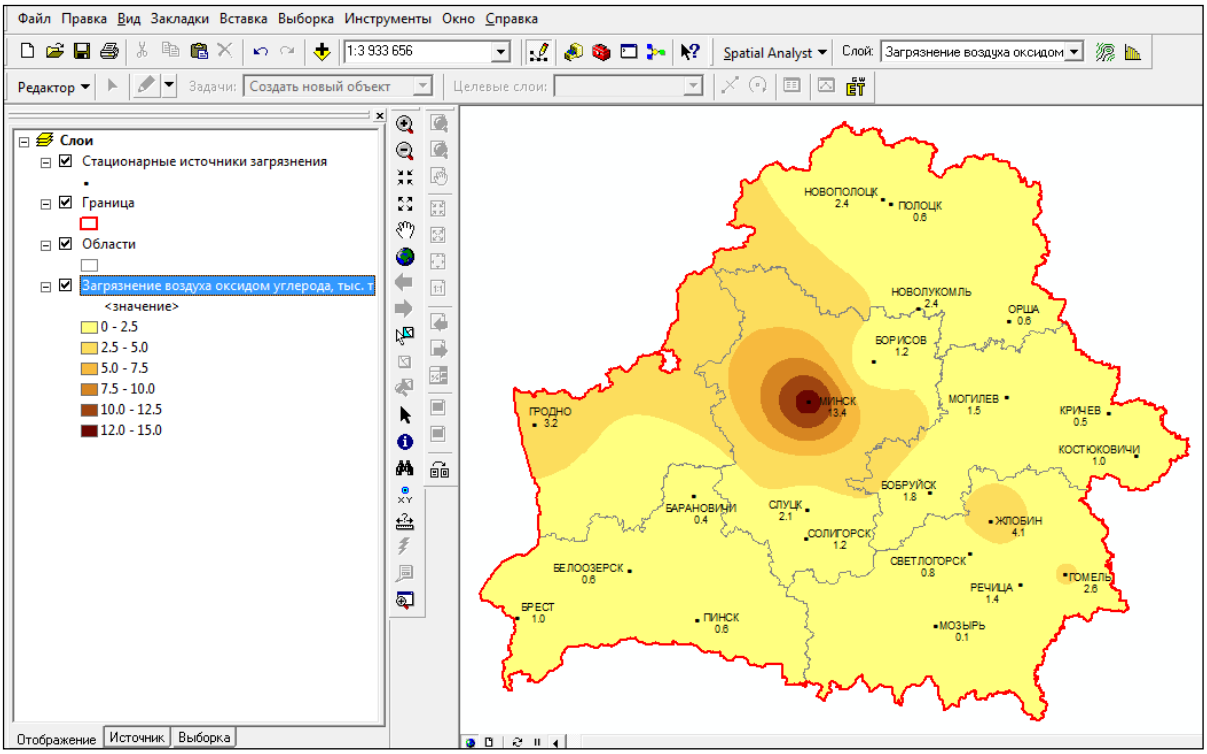


Рисунок 16 – Результат интерполяции грид-модели методом ОВР

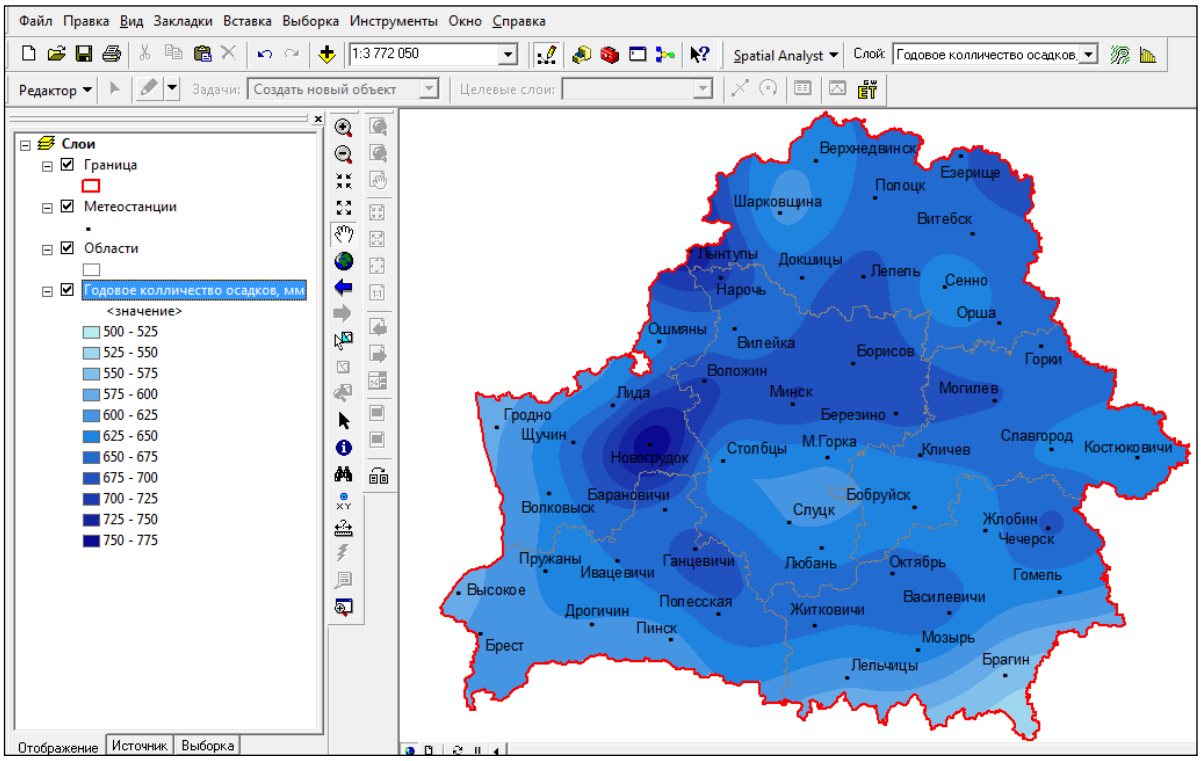


Рисунок 17 – Результат интерполяции грид-модели методом сплайна

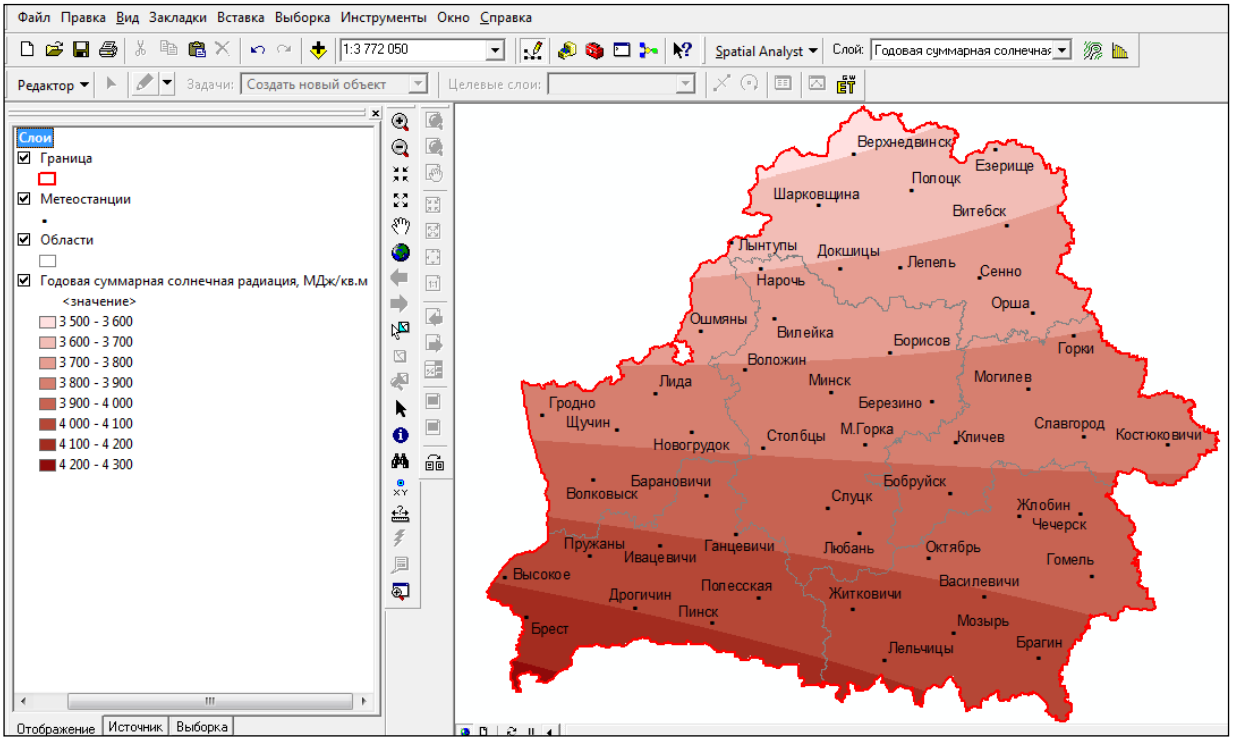


Рисунок 18 – Результат интерполяции грид-модели методом кригинга

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 19).

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.

На основе моделей, характеризующих поверхностный сток, с помощью инструментов алгебры растров автоматически идентифицируются постоянные и временные водотоки (рисунок 20). Определение их порядка основывается на количестве притоков. В ГИС реализован расчет по методам Страллера и Шрива.

На завершающем этапе моделирования по грид-поверхности направления стока автоматически выделяются бассейны рек и локальные водосборы (рисунок 21).

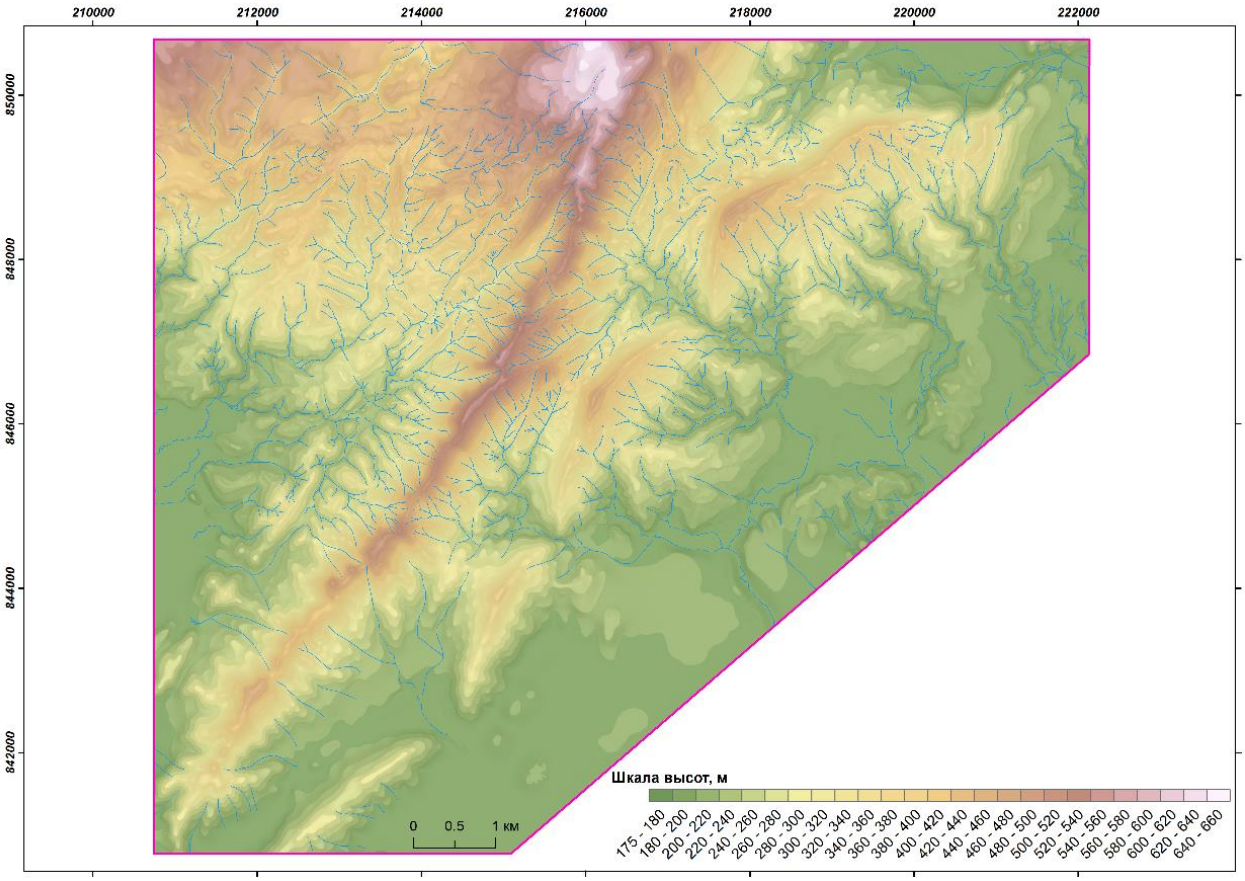


Рисунок 19 – Грид-модель рельефа, созданная инструментом «Топо в растр»

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 22). 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 23). 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 24). По данной грид-модели можно проводить оптимизацию сети метеорологических наблюдений территории.

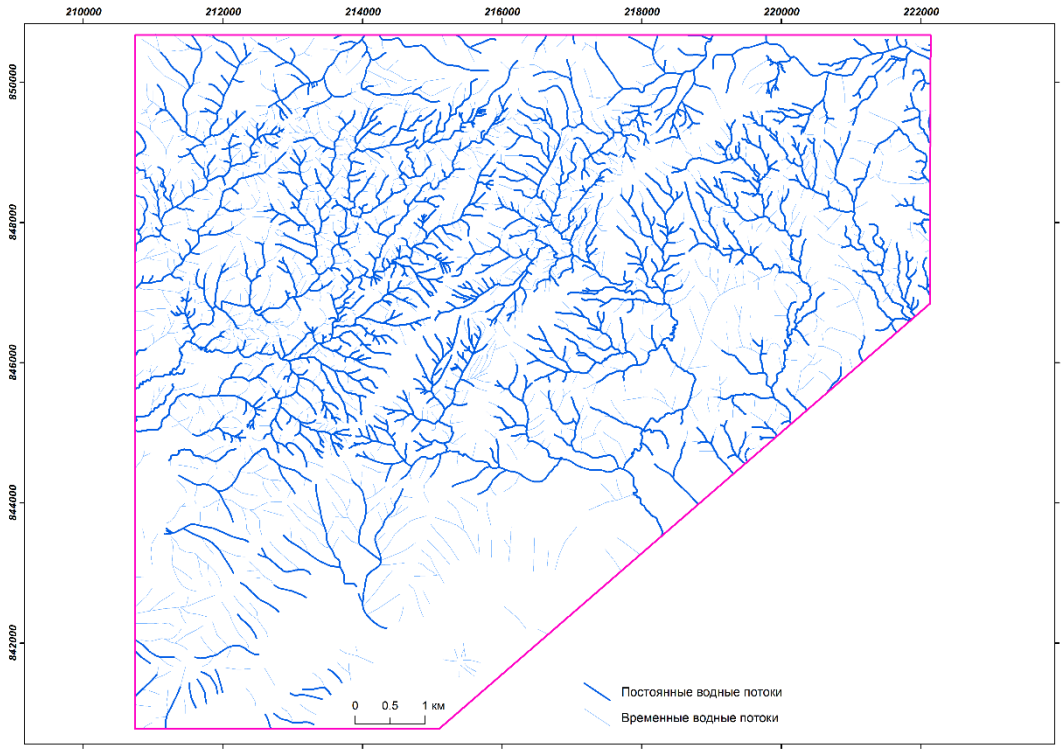


Рисунок 20 – Результат автоматической идентификации постоянных и временных водотоков по грид-модели рельефа, созданной инструментом «Топо в растр»

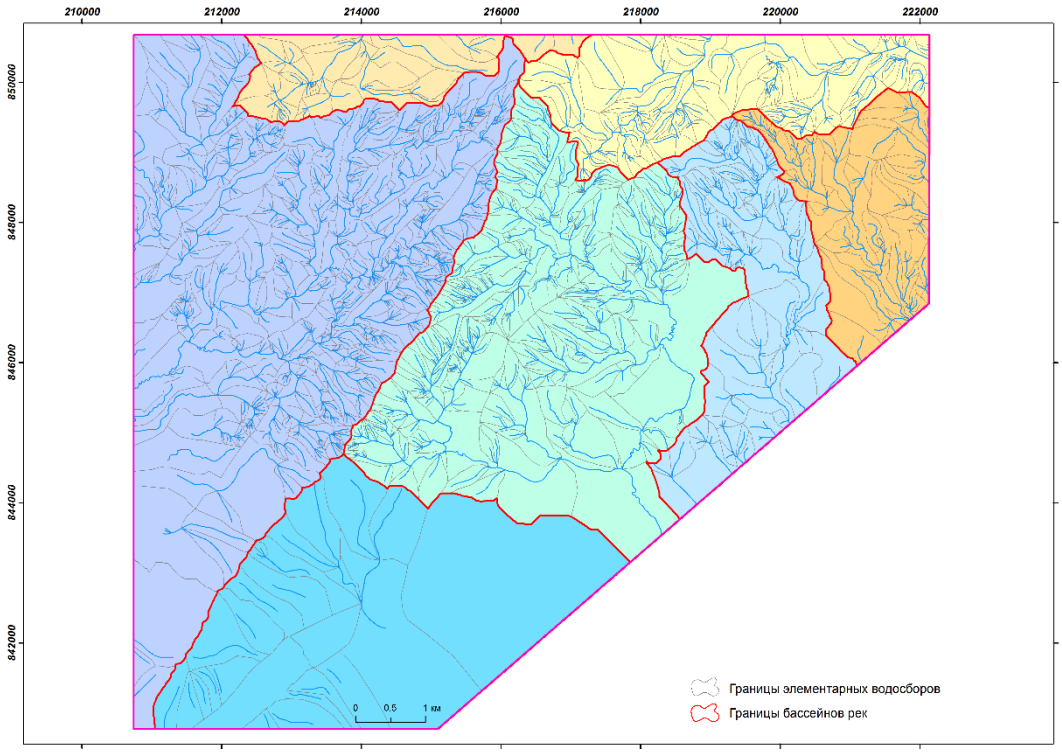
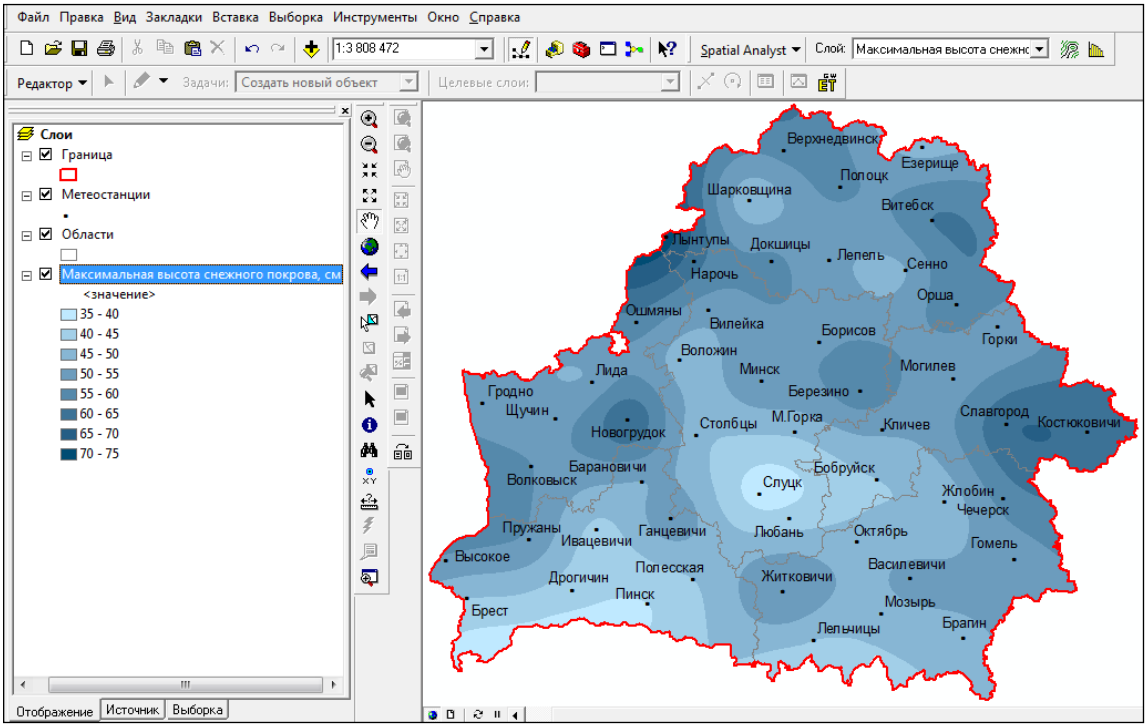
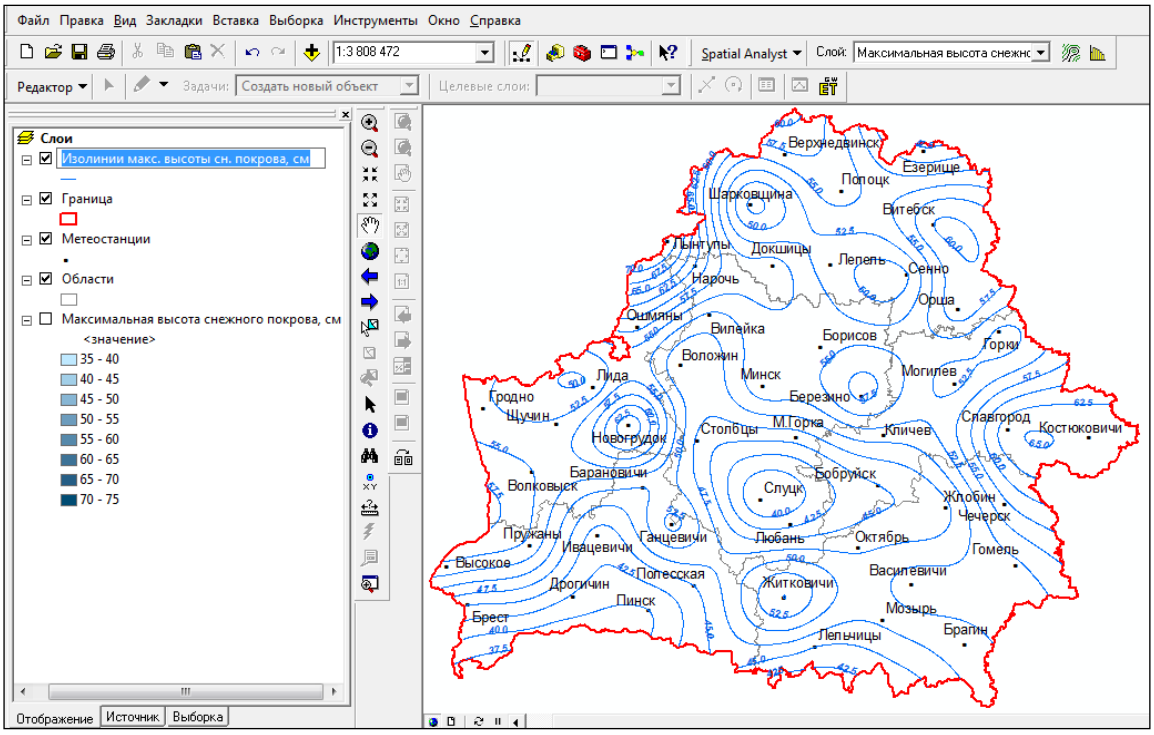


Рисунок 21 – Результат автоматической бассейновой и водосборной дифференциации территории по грид-модели рельефа, созданной инструментом «Топо в растр»



а



б

Рисунок 22 – Пример создания по грид-модели (*а*) изолиний (*б*)

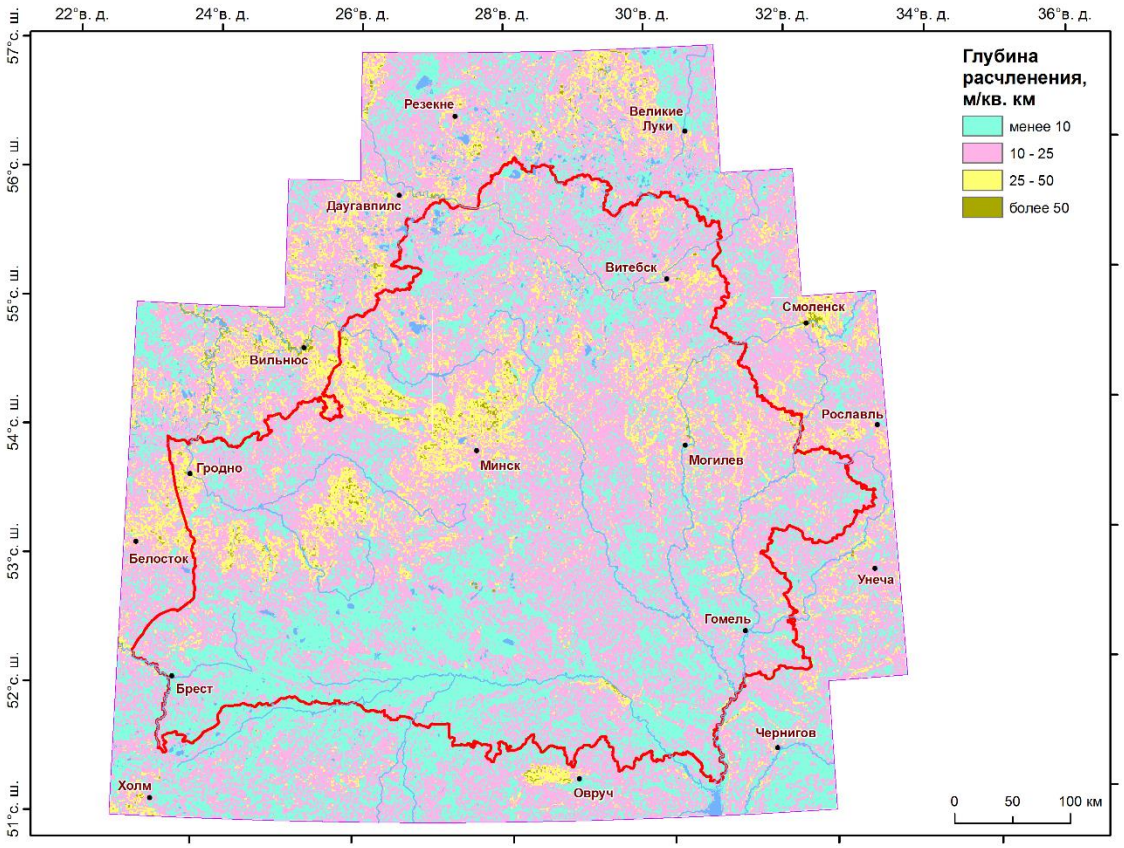


Рисунок 23 – Пример расчета глубины расчленения по грид-модели рельефа

С помощью грид-моделей ***плотности*** в ГИС анализируется пространственное распределение точечных либо линейных векторных объектов. Примером такого растрового ГИС-анализа может служить расчет густоты дорог (рисунок 25).

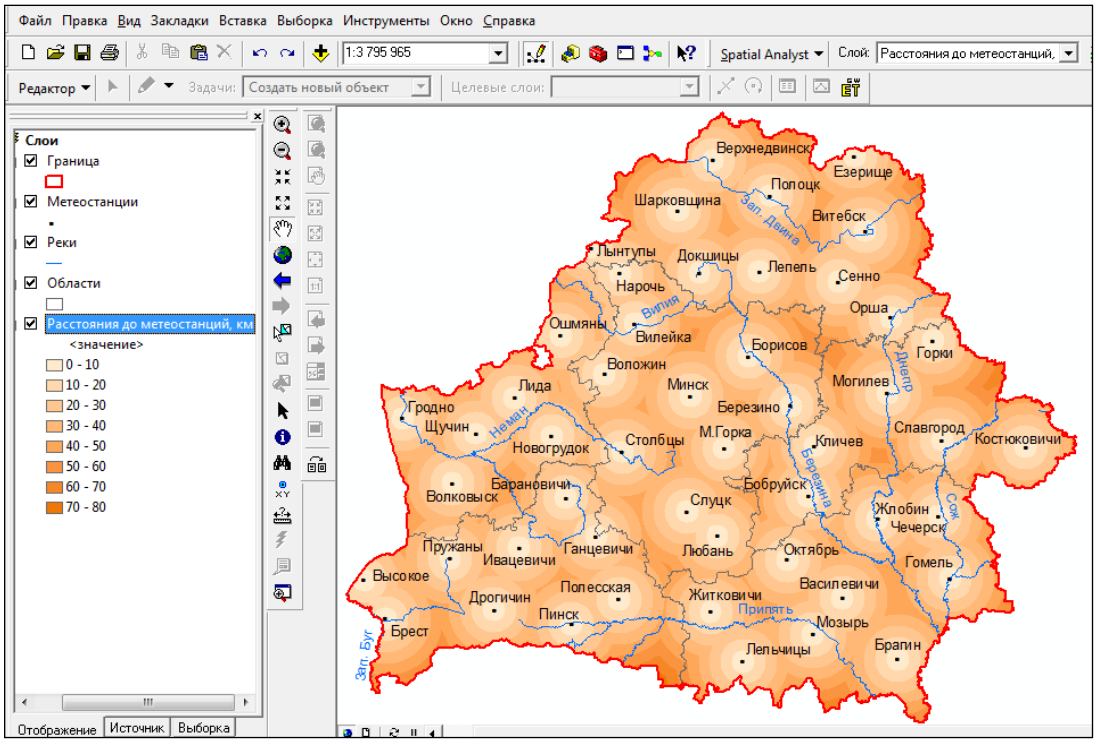


Рисунок 24 – Пример расчета грид-модели расстояний в ГИС

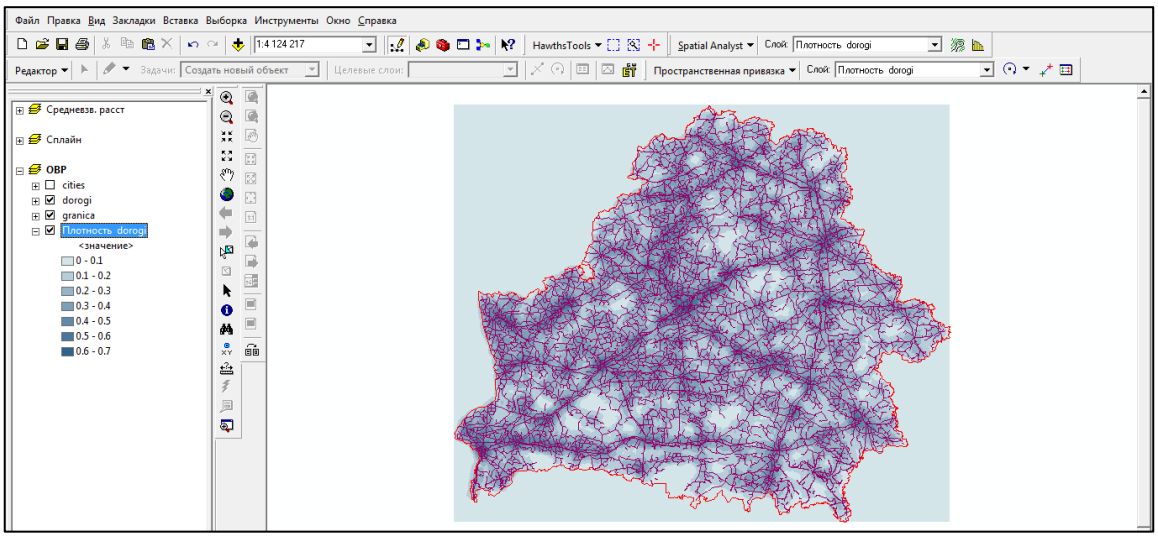


Рисунок 25 – Пример расчета грид-модели густоты дорожной сети

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

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.**

В основе *автоматизированного дешифрирования* снимков лежит *классификация объектов*. При этом исходят из того, что каждому пикселу многозонального снимка соответствует набор значений спектральных признаков или вектор в спектральном пространстве, размерность которого равна числу съемочных зон. Тогда процесс классификации сводится к распределению всех элементов растра по классам в соответствии с отражательной способностью (значением спектральной яркости) каждого объекта в одной или нескольких зонах спектра.

Автоматизированное дешифрирование подразделяют на два основных типа: **классификация с обучением и классификация без обучения.**

Классификация с обучением (контролируемая классификация) – это процесс, при котором происходит сравнение значения яркости каждого пиксела с эталонами, в результате каждый пиксел относится к наиболее подходящему классу объектов. Подобную классификацию можно применять, если заранее известно, какие объекты отражены на снимке, или имеется небольшое их количество (до 30) классов объектов и эти классы четко различимы.

При контролируемой классификации правила перехода от показателей спектральной яркости к классам объектов вырабатывают путем создания *эталонов* (*сигнатур*) – фрагментов изображения, однозначно относящихся к определенному классу объектов, а затем автоматически применяют их на остальной части снимка. Источниками, на основе которых выбираются эталоны, могут быть материалы специально проведенных полевых работ, картографические материалы,

отдешифрированные снимки. Все эталонные изображения классов могут быть сосредоточены на одном участке или разбросаны по всему снимку.

Контролируемую классификацию реализуют с помощью алгоритмов, использующих разные методы учета спектральных характеристик сигнатур (рисунок 26).

Классификация без обучения *(неуправляемая классификация)* – это процесс, при котором распределение пикселов изображения происходит автоматически, на основе анализа статистического распределения яркости пикселов. Следует отметить, что перед началом подобной классификации дешифровщику зачастую неизвестно, сколько и какие объекты отображены на снимке. После проведения классификации необходимо дешифрирование полученных классов, чтобы определить, каким объектам они соответствуют. Классификацию без обучения применяют в случае, если заранее неизвестно, какие объекты отражены на снимке, и имеется большое количество классов объектов (более 30) со сложными границами. Также ее можно применять как предварительный этап перед классификацией с обучением.

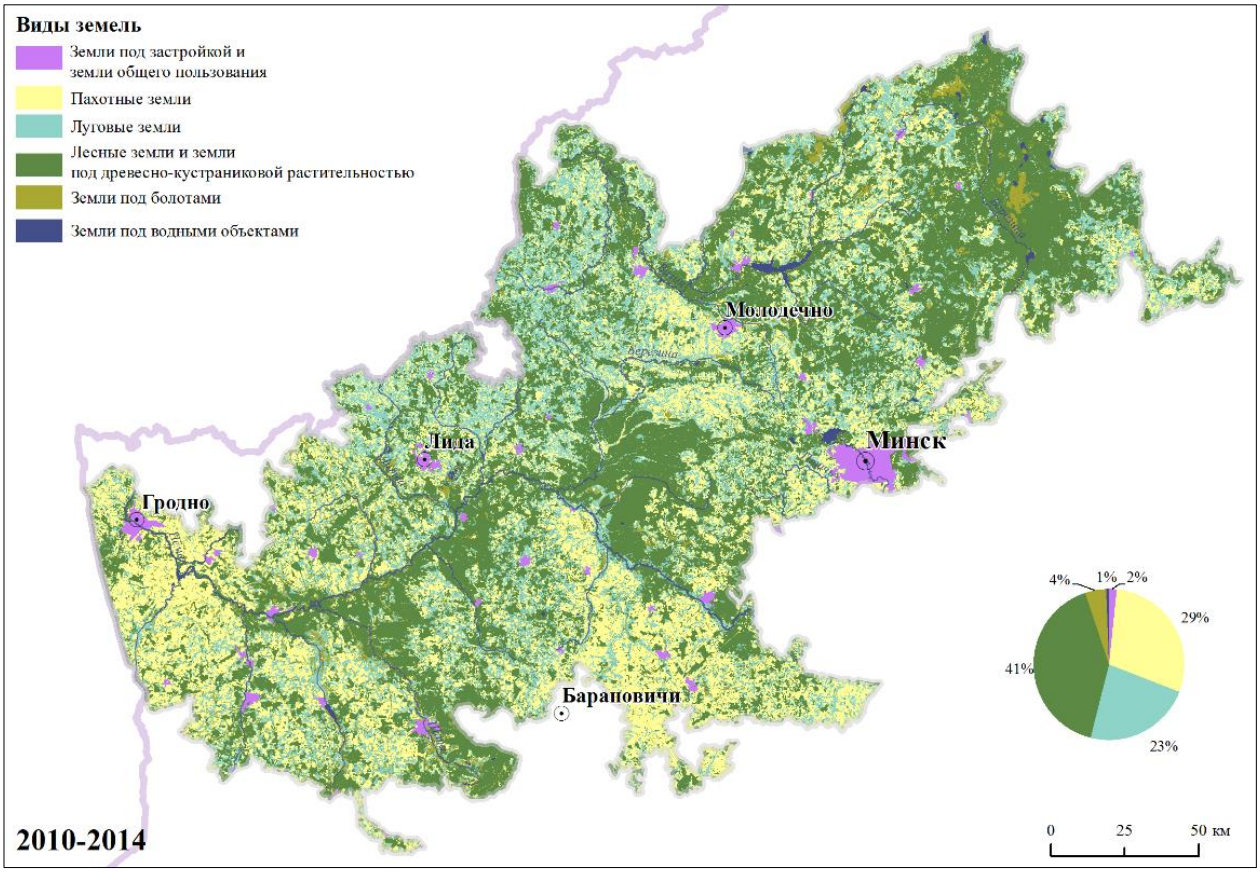


Рисунок 26 – Результат классификации с обучением видов земель Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов

Результатом классификации (как с обучением, так и без обучения) служит растровое изображение, каждый из пикселов которого отнесен к определенному классу. Зачастую, такие растры требуют последующего объединения классов и фильтрации. Данные процедуры позволяют выполнить *картографическую генерализацию* и значительно улучшить растр классификации. Кроме того, используя

стандартные *процедуры конвертации растра в вектор* в ГИС, дешифровщик может оперировать результатом классификации в векторном виде.

После выполнения процесса классификации необходимо оценить достоверность полученных результатов. *Оценка достоверности дешифрирования* производится визуально (чтобы выявить грубые ошибки) или количественно (т. е. контрольные участки классифицированного изображения сравнивают с картами, снимками крупного масштаба, литературными данными). При количественной оценке составляется *матрица ошибок*. По ней можно судить о достоверности каждого конкретного объекта (класса) и о достоверности дешифрирования в целом. Оценка достоверности проводится и для визуального дешифрирования.

1.3. 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 27). 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.

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 (рисунок 28), линии наибольших уклонов и др.

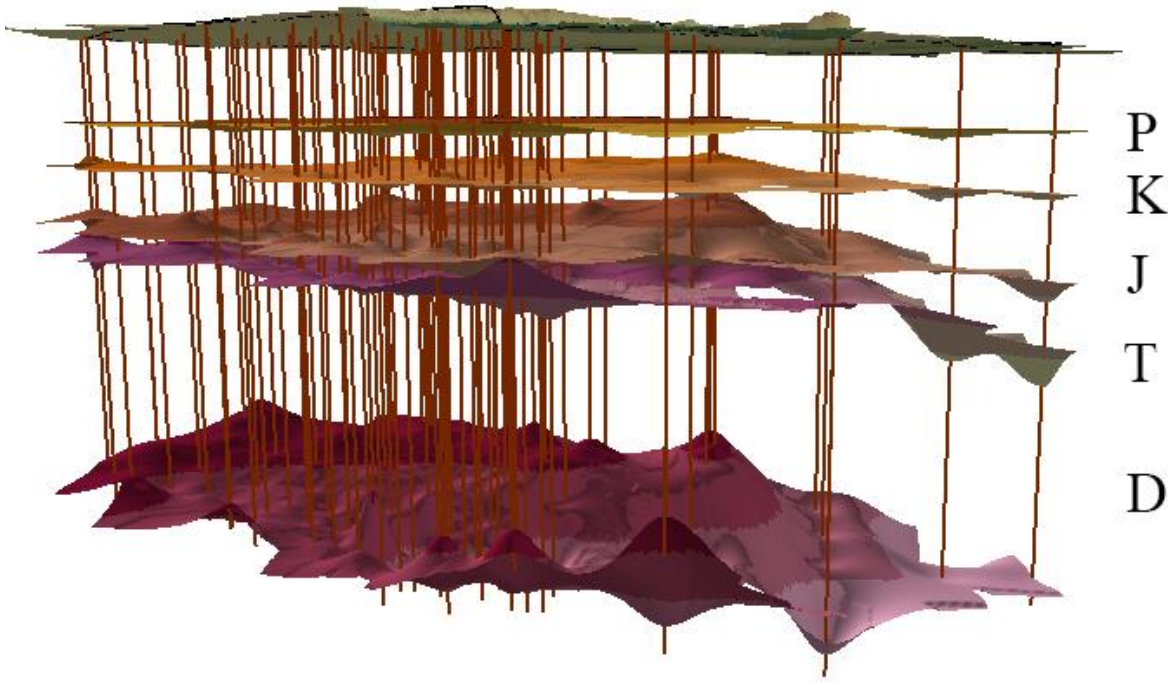


Рисунок 27 – Трехмерная модель месторождения калийных солей

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.

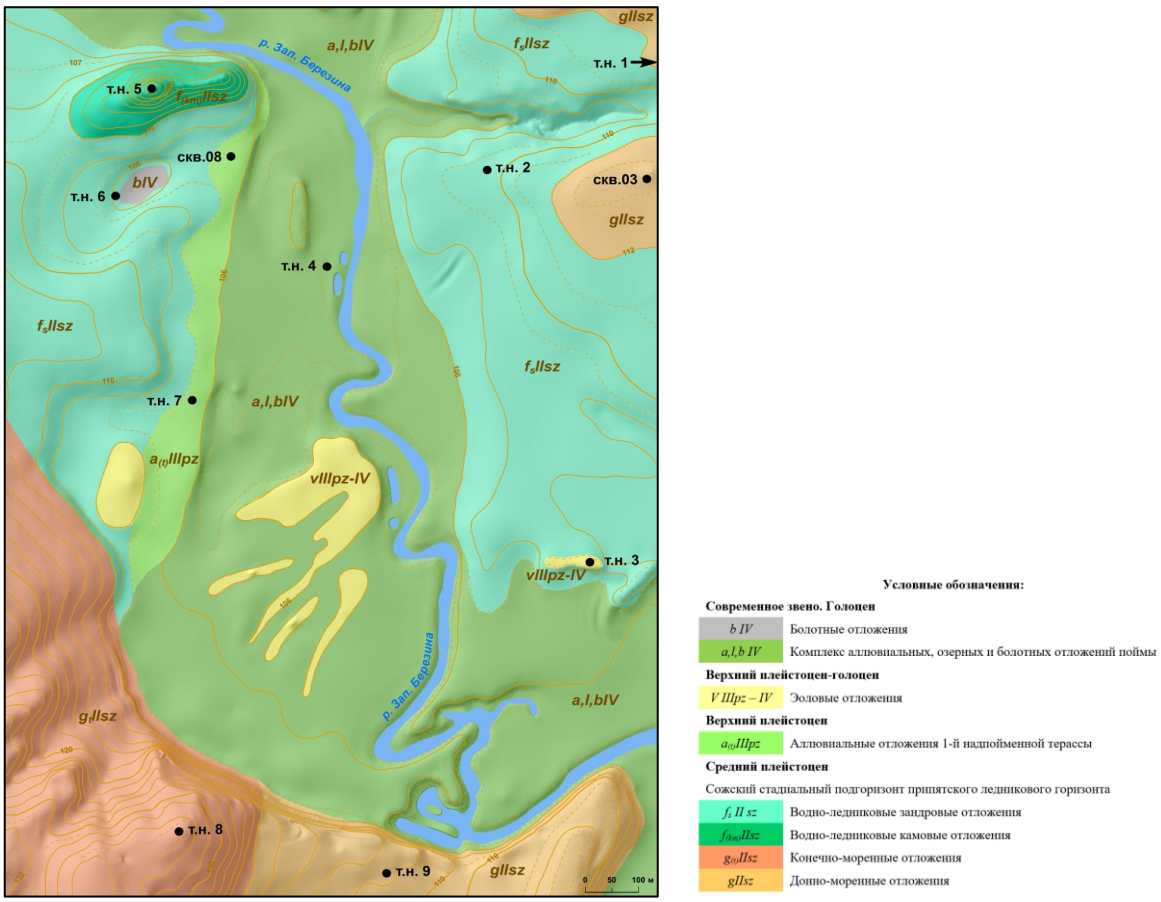


Рисунок 28 – Геологическая карта четвертичных отложений
участка «Западная Березина» с эффектом «трехмерного рельефа»

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.

Одним из наиболее интенсивно развивающихся в настоящее время направлений трехмерного моделирования является ***создание трехмерных моделей городской среды***. Данный вид моделирования способен изменить технологию и практику управления городом, городского планирования окружающей среды, разработки и ведения проектов для инвестиций. Технология 3D-ГИС позволяет создать единую информационную модель города, объединив данные из разных источников. Пользователи получают развернутую достоверную информацию о состоянии территории, интересующих объектах и сооружениях из наглядного и объемного виртуального пространства.

3D-ГИС города облегчает решение множества задач городского управления, среди которых:

- ускорение процесса принятия решений по планировке, застройке, реконструкции и обустройству городских объектов в органах власти;

- анализ, моделирование и прогнозирование развития ситуации в той или иной сфере жизни города;
- моделирование чрезвычайных ситуаций и отработка действий в них в виртуальном пространстве;
- мониторинг ситуации в городе в различных разрезах.

С помощью 3D-ГИС удобно создавать модели существующей инфраструктуры. В единой трехмерной модели объединяются уже используемые в архитектурно-строительных компаниях типы данных – 2D-САПР, ГИС, системы информационного моделирования (BIM), растровые данные. При этом могут интегрироваться данные из различных министерств, ведомств и любых других организаций.

Среди продуктов компании ESRI выделяется ГИС CityEngine, которая позволяет выполнять трехмерное моделирование и планирование городской среды, предназначена для быстрого создания и редактирования 3D-моделей городской застройки. ESRI CityEngine расширяет возможности платформы ArcGIS для профессиональных пользователей в области архитектуры, градостроительства, сферы развлечений, ГИС и создания 3D-контента.

Программный продукт ESRI CityEngine позволяет решать следующие задачи:

- быстро создавать 3D-города из существующих двумерных ГИС-данных (рисунок 29);

Рисунок 29 – Трехмерная модель участка города Минска

- осуществлять 3D-проектирование на основе ГИС-данных и процедурных правил;
- эффективно моделировать городскую среду для анализа, прогнозирования и улучшенного визуального представления;
- поддерживать географическую привязку данных, интегрировать информацию с платформой ArcGIS;
- экспорт созданных 3D-моделей в другие программные пакеты (AutoDesk, Maya, Unity, Unreal и др.);
- импорт объектов из программ 3D-моделирования (Wavefront .obj, Collada .dae, .kml, и .kmz).

2. ПРАКТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

Лабораторные работы

Лабораторная работа 1. 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 пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 2. 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 пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 3. Сетевой анализ

Цель работы: освоить алгоритмы сетевого ГИС-анализа.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 4. Геокодирование

Цель работы: освоить алгоритмы геокодирования в среде ГИС.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 5. Создание карт-анаморфоз

Цель работы: освоить алгоритмы построения карт-анаморфоз средствами ГИС-анализа.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 6. Растровый гидрологический ГИС-анализ

Цель работы: освоить алгоритмы растрового гидрологического ГИС-анализа.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 7. Геостатистический ГИС-анализ

Цель работы: освоить алгоритмы создания интерполяционных поверхностей геостатистическими методами интерполяции.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 8. Геообработка пространственных данных с использованием геомоделей ModelBuilder

Цель работы: освоить алгоритмы построения пользовательских инструментов геообработки пространственных данных в ГИС ArcGIS на основе геомоделей ModelBuilder.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

Лабораторная работа 9. Трехмерное моделирование средствами ESRI CityEngine

Цель работы: освоить алгоритмы трехмерного моделирования в среде ESRI CityEngine.

Методика выполнения работы приведена в пособии ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. / Электронная библиотека БГУ. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/215983 – Дата доступа 01.05.2021.

3. РАЗДЕЛ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

3.1. Перечень тестов и контрольных заданий

Тесты и контрольные задания проводятся в течение седьмого семестра по следующим темам:

1. Методы векторного геоинформационного анализа;
2. Методы растрового геоинформационного анализа;
3. Трехмерное геоинформационное моделирование.

Примеры тестовых заданий по указанным темам:

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

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

2. При каком виде операций расширенного пространственного ГИС-анализа происходит наложение друг на друга двух или более векторных слоев, результатом которого является графическая композиция (выборка) либо результирующий слой наложения?

1) пространственная статистика
2) оверлейные операции
3) полигоны Тиссена
4) геообработка
5) командная строка
6) буферные операции.

3. При какой ГИС-операции происходит установление отношений между двумя атрибутивными таблицами без добавление атрибутов одной таблицы в другую?

1) Соединение таблиц
2) Связывание таблиц.

4. При каком виде операций расширенного пространственного ГИС-анализа происходит определение областей, окружающих географические объекты?

1) оверлейные операции
2) буферные операции
3) геообработка
4) сетевой анализ
5) пространственная статистика
6) полигоны Тиссена.

5. Какую операцию растрового ГИС-анализа можно применить если необходимо рассчитать концентрацию геообъектов по определенной территории?

1) расчет расстояний
2) генерализация геообъектов
3) растровая алгебра
4) рассчет плотности
5) цифровое моделирование рельефа.

6. Какой модуль ГИС ArcGIS позволяет выполнять трехмерное моделирование?

1) Network Analyst
2) Spatial Analyst
3) Image Analysis
4) 3D Analyst
5) Geostatistical Analyst.

7. Какая из функций картографической растровой алгебры вычисляет выходной растр, где значения каждой ячейки является функцией от значений входных ячеек в окрестности этой ячейки?

1) статистика по ячейкам
2) интерполяция растра
3) переклассификация растра
4) статистика по окрестности
5) зональная статистика.

8. Какие векторные слои служат основой для построения цифровой модели рельефа Topogrid по методу Topo To Raster?

1) озера
2) отметки высот
3) дороги
4) болота
5) отметки урезов воды
6) реки
7) населенные пункты
8) граница области исследований
9) горизонтали
10) леса

9. Определите основные цели переклассификации растров.

1) классификация значений по общей шкале
2) наложение значений
3) группировка значений
4) замена определенных значений на «Нет данных» или наоборот
5) замена значений на основании новой информации
6) генерализация

3.2. Вопросы к экзамену по дисциплине

Теоретические вопросы:

1. Операции элементарного пространственного ГИС-анализа.
2. Пространственная статистика в ГИС.
3. Оверлейные операции в ГИС.
4. Анализ близости в ГИС.
5. Особенности построения карт-анаморфоз в ГИС.
6. Переклассификация и районирование векторных геообъектов в ГИС.
7. Генерализация векторных геообъектов в ГИС.
8. Основные операции сетевого анализа.
9. Геокодирование в ГИС.
10. Детерминированные методы интерполяции пространственных данных на основе ячеек GRID.
11. Построение GRID-моделей с использованием методов геостатистики. Исследовательский анализ геоданных.
12. Построение GRID-моделей с использованием методов геостатистики. Подбор модели для построения интерполяционной поверхности. Проверка качества интерполяционной модели. Сравнение интерполяционных моделей.
13. Выполнение анализа гипсометрических GRID-поверхностей.
14. Гидрологический ГИС-анализ.
15. Особенности расчета GRID-моделей расстояний и плотности в ГИС.
16. Основные функции картографической растровой алгебры.
17. Статистика по ячейкам GRID, по окрестности, зональная статистика.
18. Автоматизированное дешифрирование растров в ГИС, генерализация результатов дешифрирования.
19. Геообработка данных в ГИС.
20. Трехмерное ГИС-моделирование.

Практические задания:

1. Выполнение анализа близости.
2. Анализ данных на основании оверлейных операций.
3. Построение карт-анаморфоз.
4. Сетевой анализ.
5. Геокодирование.
6. Гидрологический ГИС-анализ.
7. Автоматизированное дешифрирование растров.
8. Построение GRID-моделей методами геостатистики.
9. Построение геомоделей.
10. Трехмерное моделирование в среде ESRI CityEngine.

3.3. Организация самостоятельной работы

Самостоятельная работа ведется на основании Положения о самостоятельной работе студентов (курсантов, слушателей), утвержденном Министром 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 и методика формирования итоговой оценки

Формой текущей аттестации по дисциплине «ГИС-анализ и моделирование» учебным планом предусмотрен экзамен.

Итоговая оценка формируется на основе 3-х документов:

1. Правила проведения аттестации студентов, курсантов, слушателей при освоении содержания образовательных программ высшего образования (Постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29.05.2012 г. N 53).

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).

Оценка степени усвоения теоретического материала проверяется путем регулярного тестирования. Для оценки степени выполнения лабораторных работ и УСР студенты готовят письменный отчет, который проверяется преподавателем.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад форм (мероприятий) текущего контроля знаний в оценку текущей успеваемости:

– электронные тесты (среднеарифметическая величина отметок за все электронные тесты) – 40 %;

– письменные отчеты по лабораторным работам и УСР (среднеарифметическая величина отметок за письменные отчеты по всем лабораторным работам и УСР) – 60 %.

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки по текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационная оценка – 60 %.

3.4. Перечень заданий по управляемой самостоятельной работе студентов

Тема № 3. Расширенный пространственный анализ. Сетевой анализ.

Тематика УСР – создание геомоделей в среде ГИС ArcGIS – 2 часа (ДО).

Студенту предлагается самостоятельно создать геомодель в приложении ModelBuilder, позволяющую автоматизировать процесс геообработки пространственных данных. УСР выполняется по вариантам.

Форма контроля – письменный отчет по УСР.

Тема № 4. Растровый анализ. Трехмерное моделирование в ГИС.

Тематика УСР – Растровый гидрологический ГИС-анализ – 4 часа (ДО).

Студенту предлагается самостоятельно создать грид-модель рельефа по методу «Топо в растр», сформировать по ней модели основных характеристик поверхностного стока в ГИС (направление стока, суммарный сток, порядок водотоков, длина линии стока), по результатам моделирования основных характеристик поверхностного стока в ГИС выделить в автоматическом режиме постоянные и временные водотоки, бассейны, локальные водосборы. УСР выполняется по вариантам.

Форма контроля – письменный отчет по УСР.

4. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЙ РАЗДЕЛ

4.1. Учебно-методическая карта по учебной дисциплине для специальностей 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)»

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
	Всего по дисциплине				**32**		**6 (ДО)**	
1	Основы ГИС-анализа							электронные тесты
2	Элементарный пространственный анализ. Пространственная статистика				4			электронные тесты, письменные отчеты по лабораторным работам
3	Расширенный пространственный анализ. Сетевой анализ				12		2 (ДО)	электронные тесты, письменные отчеты по лабораторным работам, письменные отчеты по УСР
4	Растровый анализ. Трехмерное моделирование в ГИС				16		4 (ДО)	электронные тесты, письменные отчеты по лабораторным работам, письменные отчеты по УСР

4.2. Рекомендуемая литература

Основная

1. Курлович, Д.М. ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д.М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 150 с.

Дополнительная

2. Курлович, Д.М. Геоинформационные технологии. Лабораторный практикум : учеб.-метод. пособие / Д.М. Курлович, Н.В Жуковская, О.М. Ковалевская. – Минск : БГУ, 2015. – 160 с.

3. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Баранов Ю.Б., Берлянт А.М., Капралов Е.Г. и др. – М. : ГИС Ассоциация, 1999. – 205 с.

4. Основные принципы геоинформационных систем: учебн. пособие / Шипулин В.Д.; Харьк. нац. акад. гор. хоз-ва. – Х.: ХНАГХ, 2010. – 337 с.

4.3. Электронные ресурсы

5. Учебная программа по учебной дисциплине «ГИС-анализ и моделирование» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://elib.bsu.by/handle/123456789/5297. – Дата доступа: 01.05.2021.

6. GIS-Lab. Географические информационные системы и дистанционное зондирование [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://gis-lab.info/.– Дата доступа 01.04.2021.

7. ArcReview // Esri CIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.esri-cis.ru/news/arcreview/all.php. – Дата доступа 01.05.2021.