БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Д. М. Курлович

ГИС-АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по естественно-научному образованию в качестве учебно-методического пособия для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)»

МИНСК
БГУ
2018

УДК 91:004(075.8)
ББК 26.8с51я73
К93

Рецензенты:
кафедра географии и методики преподавания географии
Белорусского государственного педагогического университета
имени Максима Танка (заведующий кафедрой
кандидат географических наук, доцент *А. В. Таранчук*);
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент *А. Н. Червань*

Курлович, Д. М.
К93 ГИС-анализ и моделирование : учеб.-метод. пособие / Д. М. Курлович. – Минск : БГУ, 2018. – 167 с. : ил.
ISBN 978-985-566-618-0.

Учебно-методическое пособие состоит из теоретического блока и лабораторных работ, которые сопровождаются контрольными вопросами для самопроверки. В издании рассмотрены основные функциональные возможности географических информационных систем по пространственному анализу и моделированию геоданных.

Для студентов учреждений высшего образования, обучающихся по специальности 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)».

УДК 91:004(075.8)
ББК 26.8с51я73

ISBN 978-985-566-618-0

© Курлович Д. М., 2018
© БГУ, 2018

ПРЕДИСЛОВИЕ

Сегодня в Республике Беларусь географические информационные системы (ГИС) находят широкое применение во многих отраслях науки и практики. Прежде всего следует отметить географию и ее дисциплины – геологию, геоморфологию, гидрометеорологию, почвоведение, биогеографию, ландшафтоведение, геоэкологию, геодезию и картографию, геодемографию; социально-экономическую, политическую и электоральную географию. Данные направления представляют собой традиционную область использования ГИС. Кроме того, технологии ГИС применяются в туристической деятельности, лесном хозяйстве, земельном кадастре.

Следует также обозначить ряд направлений, в определенной степени далеких от географии. В своей практической деятельности они оперируют пространственной информацией в цифровом виде, например архитектурное планирование, инженерное дело, транспорт и логистика, торговля, деятельность силовых структур, рынок недвижимости и многие другие.

Одной из основных компетенций ГИС-специалиста является умение проводить векторный и растровый ГИС-анализ и осуществлять трехмерное моделирование природно-антропогенной среды. В настоящее время геоинформационный анализ и моделирование – это «сердце» ГИС, пожалуй, важнейшая ее подсистема. В результате выполнения данных операций в среде ГИС выявляются пространственные закономерности и взаимосвязи, формируются новые данные на основе анализа существующих, создаются реалистичные модели геопространства.

Учебно-методическое пособие по курсу «ГИС-анализ и моделирование» подготовлено в соответствии с учебной программой для студентов специальности 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по на-

правлениям)». Значительную часть издания составляет практический блок, который является непосредственным продолжением теории.

Материал содержит авторские методические разработки по выполнению лабораторных работ и управляемой самостоятельной работы студентов. Лабораторные работы ориентированы на использование лицензионных ГИС-программ.

Автор выражает благодарность заведующему кафедрой географии и методики преподавания географии Белорусского государственного педагогического университета имени Максима Танка А. В. Таранчук, доценту вышеупомянутой кафедры В. Л. Андреевой и ведущему научному сотруднику РУП «Институт почвоведения и агрохимии» А. Н. Черваню за существенные рекомендации по улучшению учебно-методического пособия, а также управлению редакционно-издательской работы БГУ за подготовку рукописи к изданию.

1. МЕТОДЫ ВЕКТОРНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА

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

Как основные направления векторного анализа в ГИС можно выделить следующие:

- 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* (рис. 1) 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 (рис. 2);
- сортировку объектов по их атрибутам и переключение выборки.

К *картометрическим действиям над векторами* относят:

- определение расстояний между векторными геообъектами (рис. 3);
- определение координат точечных геообъектов;
- определение длин линейных геообъектов;
- определение площадей и периметров полигональных геообъектов.

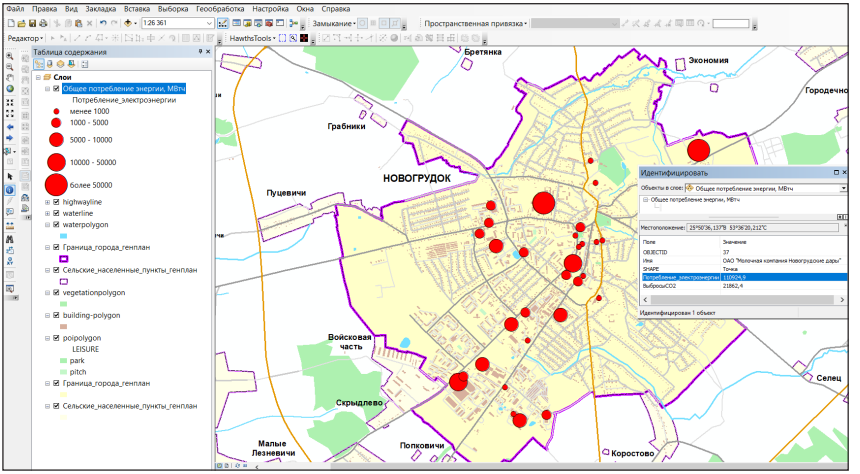


Рис. 1. Просмотр в ГИС векторных геообъектов

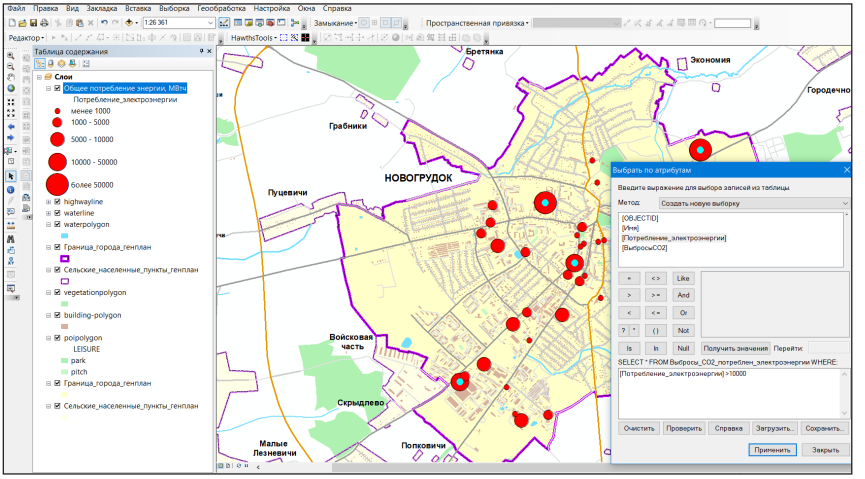


Рис. 2. Выборка векторных объектов по определенному атрибуту в ГИС

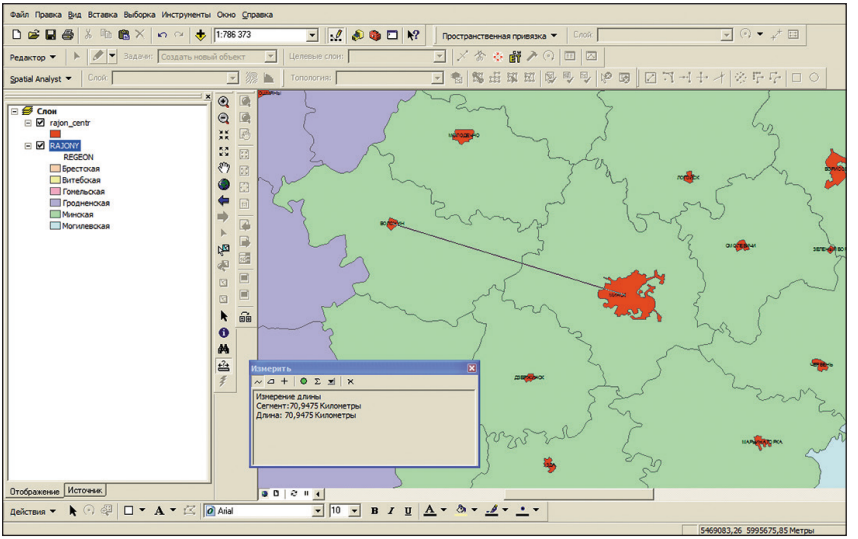


Рис. 3. Картометрические операции в ГИС

На основе текстовых и количественных атрибутов векторов в ГИС возможно *составление тематических картограмм, картодиаграмм, картосхем*, *графиков, диаграмм* (рис. 4).

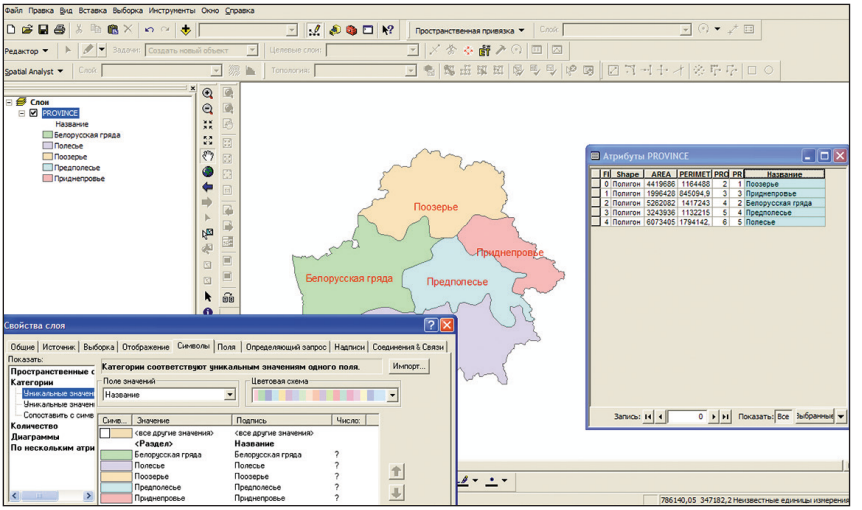


Рис. 4. Построение тематической картограммы в ГИС

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 (рис. 5).

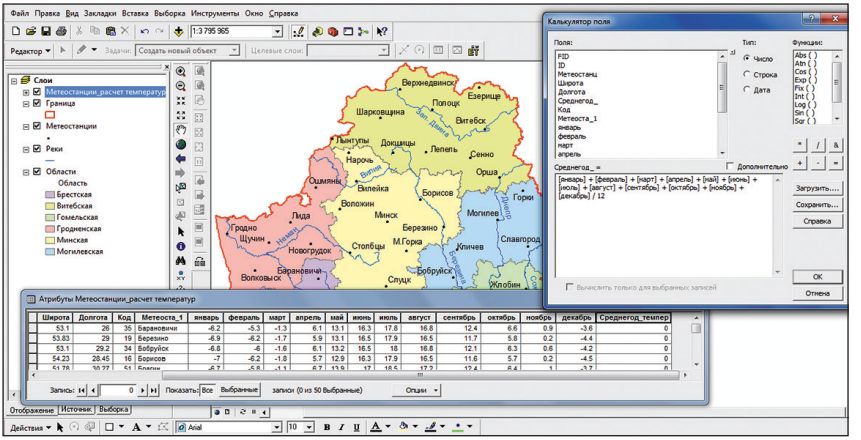


Рис. 5. Статистическая обработка атрибутов в ГИС

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 необходимая определенная тематическая информация 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 [11].

При соединении двух таблиц данные одной из них добавляются в другую на основании значения общего для данных таблиц поля (например, названия метеостанции) (рис. 6).

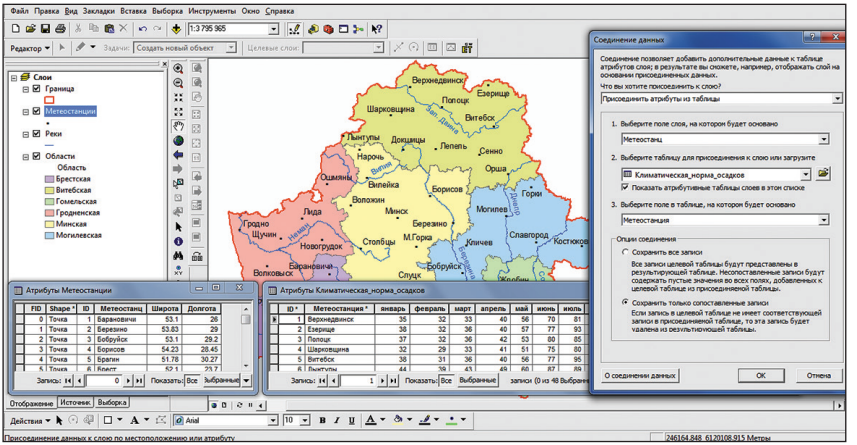


Рис. 6. Связывание таблиц в ГИС

Как правило, соединение таблиц основано на значении поля, которое присутствует в обеих таблицах. Название поля в таблицах может быть различным, но его тип должен быть одним и тем 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, а 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 [8; 11]. 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 близлежаще-

го 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 (рис. 7), а также элементы кластерного и регрессионного анализов.

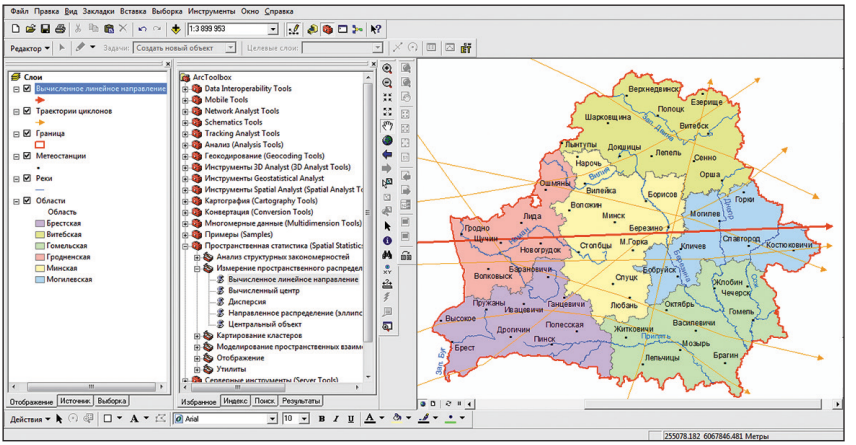


Рис. 7. Вычисление среднего линейного направления траекторий циклонов в ГИС

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 [2; 3; 9]. Примером оверлейной операции может служить нахождение населенных пунктов, попадающих в зону штормового предупреждения при прохождении тропического урагана (рис. 8).

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

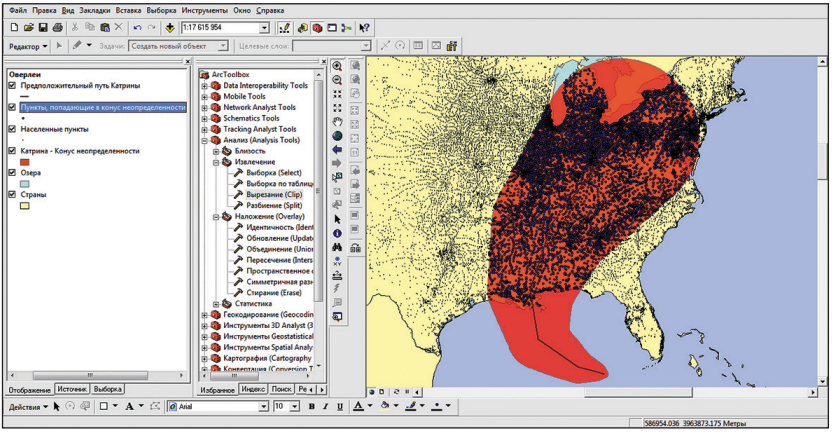


Рис. 8. Пример выполнения оверлейной операции вырезания в ГИС

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 [1; 2]. ГИС-поддержка решения таких типов географических задач, как проектирование санитарно-защитных зон предприятий, водоохранных зон водных объектов, осуществляется с использованием данной функции (рис. 9).

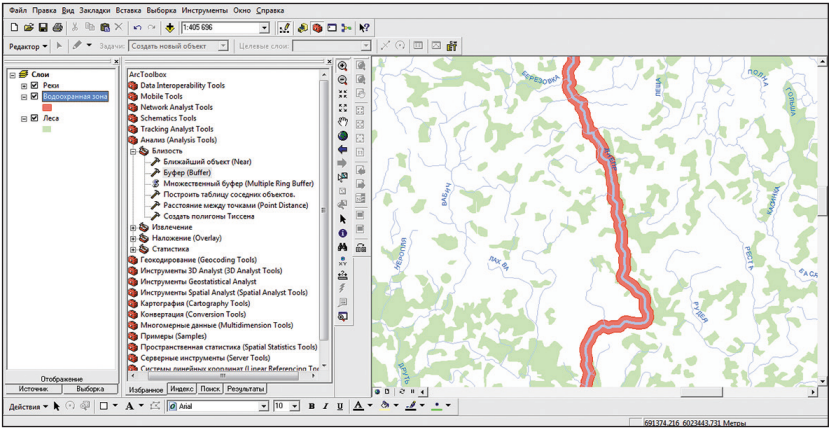


Рис. 9. Результат построения буферной зоны в ГИС

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.

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, чтобы показать зоны их влияния в пространстве (рис. 10). Названы они были в честь климатолога Тиссена, который первым с их помощью проинтерполировал сильно неравномерные распределения климатических данных [4; 9].

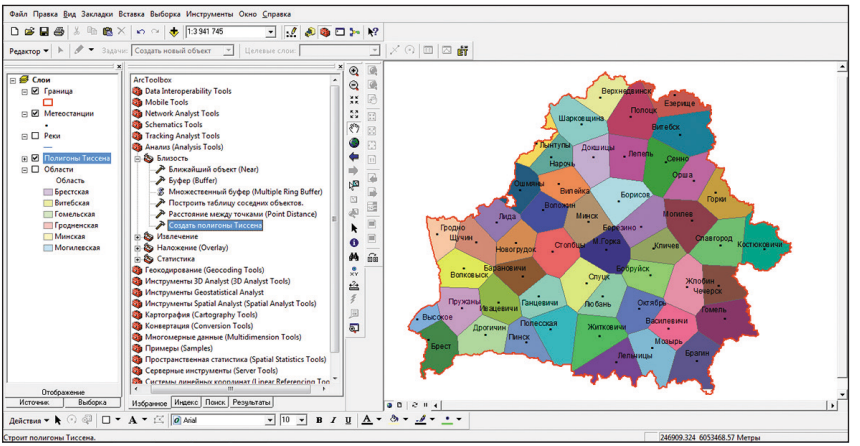
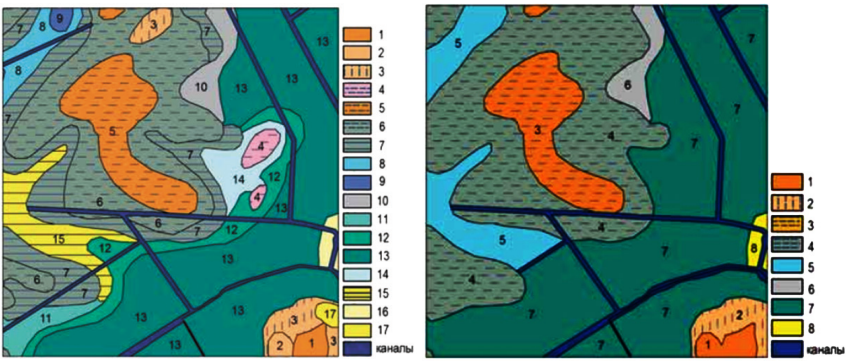


Рис. 10. Результат построения полигонов Тиссона по метеостанциям в ГИС

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

Одной из возможностей ГИС является картографическая *генерализация*. Генерализация в ГИС имеет два аспекта: генерализация базы данных (переклассификация, классификационная генерализация) и непосредственно геометрическая генерализация. Геометрическая генерализация трактуется как упрощение линий или полигонов [2; 11] (рис. 12).



а *б*

Рис. 11. Цифровая почвенная карта до (*а*) и после (*б*) переклассификации

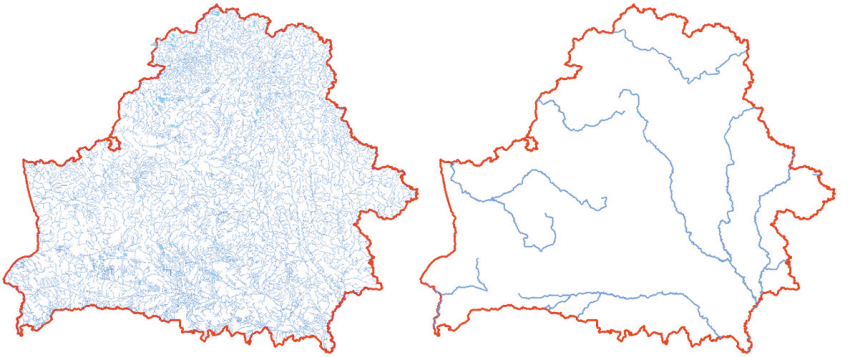


Рис. 12. Пример генерализации объектов гидрографии в ГИС

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 [7; 11] (рис. 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 электропередачи – представляет сеть. Передвижения людей, транспортировка товаров и услуг, обмен информацией и передача энергии происходят по сетям [1; 9; 11].

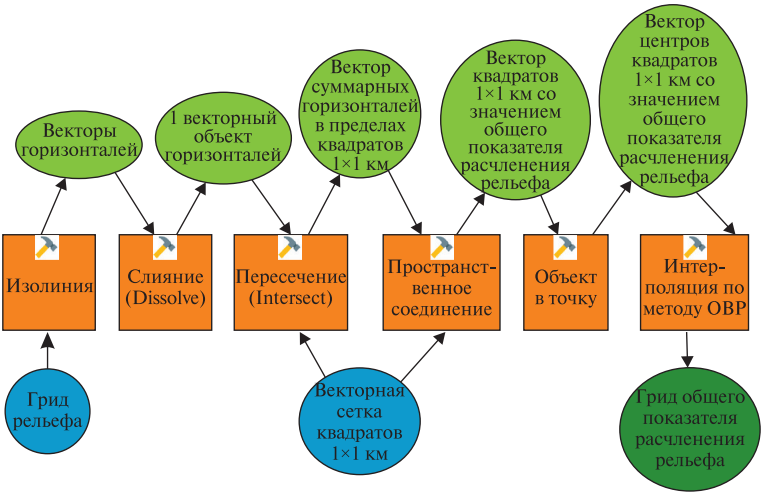


Рис. 13. Пример геообработки с помощью модели в ГИС (расчет показателя общего расчленения рельефа)

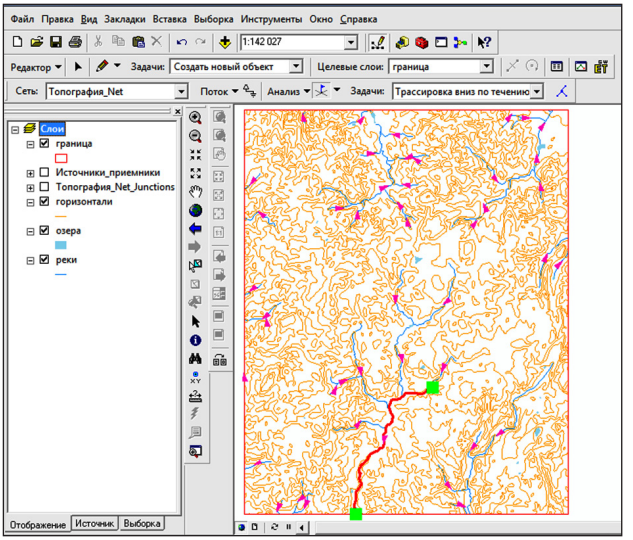


Рис. 14. Сетевой анализ гидрографической сети в ГИС

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

2. МЕТОДЫ РАСТРОВОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА

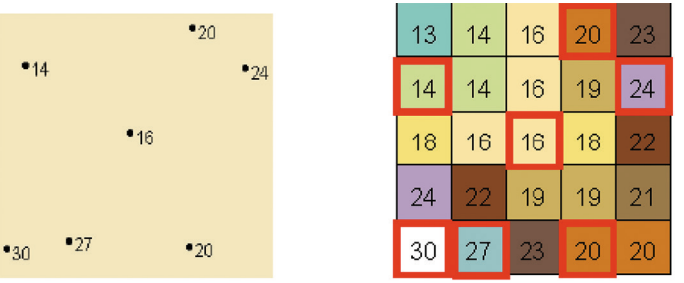
Растровый анализ в ГИС используется при обработке растровых моделей и грид-слоев с учетом их атрибутов. Наиболее оправдан растровый анализ в ГИС при работе с непрерывными географическими процессами или явлениями.

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

- интерполяция растра;
- анализ поверхностей;
- картографирование плотности;
- картографирование расстояний;
- использование функции картографической растровой алгебры;
- автоматизированное дешифрирование растров, генерализация результатов дешифрирования.

Интерполяция рассчитывает значения ячеек грида на основании ограниченного числа точек измерений (рис. 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.

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 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 [6].



а *б*

Рис. 15. Пример создания по точечному слою
(*а*) интерполяционной грид-модели (*б*) [6]

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 *Topo 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 [6; 9]. Этот метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера (рис. 16).

Сплайн рассчитывает значения ячеек на основе математической функции, минимизирующей кривизну поверхности, вычисляя наибо-

лее ровную поверхность, точно проходящую через все точки измерений (рис. 17). Идея аналогична растягиванию резиновой пленки так, чтобы она проходила через все точки при минимизации кривизны поверхности [6; 9].

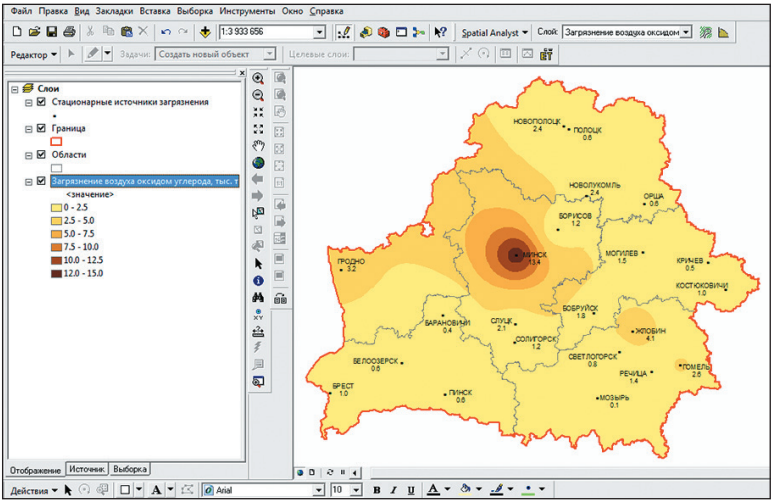


Рис. 16. Результат интерполяции грид-модели методом ОВР

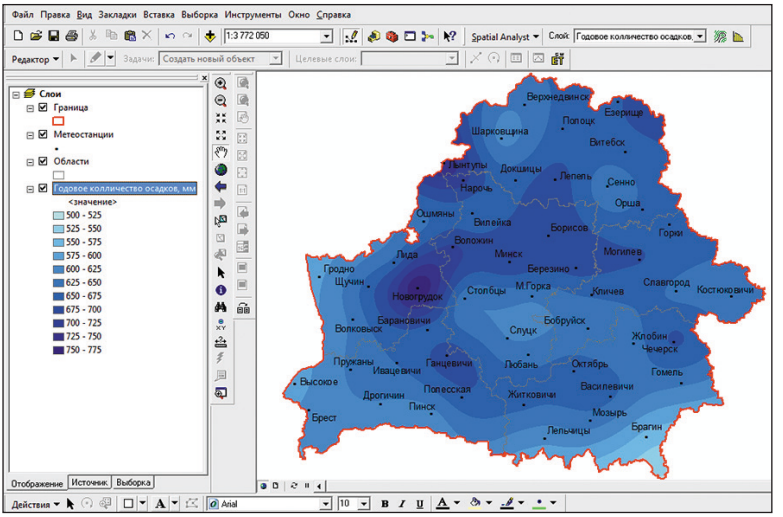


Рис. 17. Результат интерполяции грид-модели методом сплайна

Кригинг похож на ОВР тем, что учитывает вес окружающих измеренных значений для определения расчетного значения 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 и от общего пространственного распределения точек замеров (рис. 18). Пошаговый процесс включает в себя поисковый статистический анализ данных, моделирование вариограммы, создание поверхности и (дополнительно) изучение точности и достоверности полученной поверхности [6; 9].

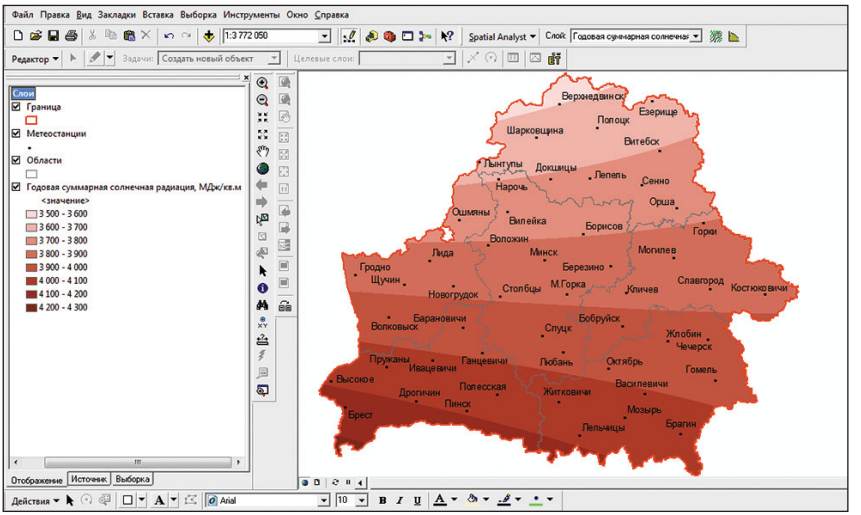


Рис. 18. Результат интерполяции грид-модели методом кригинга

Практика показывает, что создаваемые с помощью детерминированных и геостатистических методов интерполяции цифровые модели рельефа часто 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 др.).

Для построения гидрологически корректной цифровой модели рельефа способом интерполяции используется инструмент *Topo в растр* [11].

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 (рис. 19).

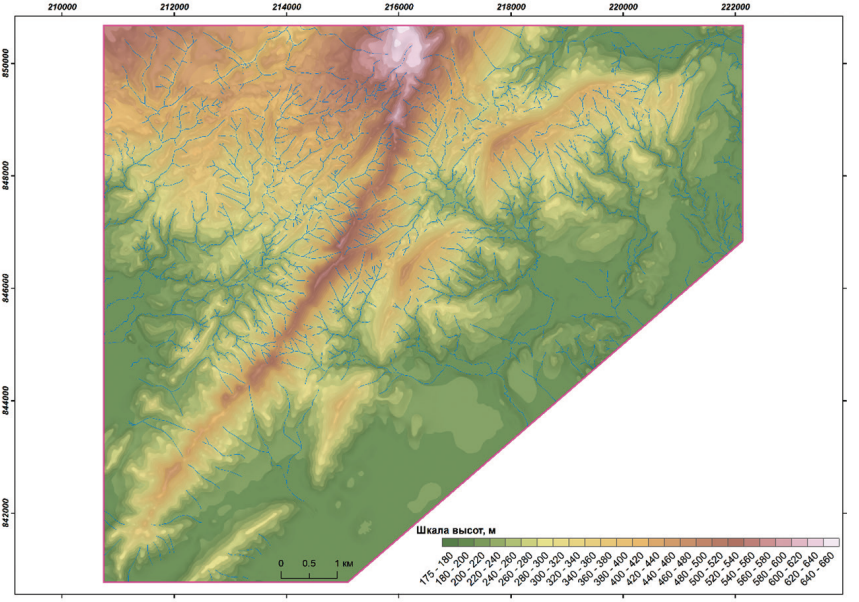


Рис. 19. Грид-модель рельефа, созданная инструментом *Топо в растр*

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 идентифициру-

ются постоянные и временные водотоки (рис. 20). Определение их порядка основывается на количестве притоков. В ГИС реализован расчет по методам Страллера и Шрива [11].

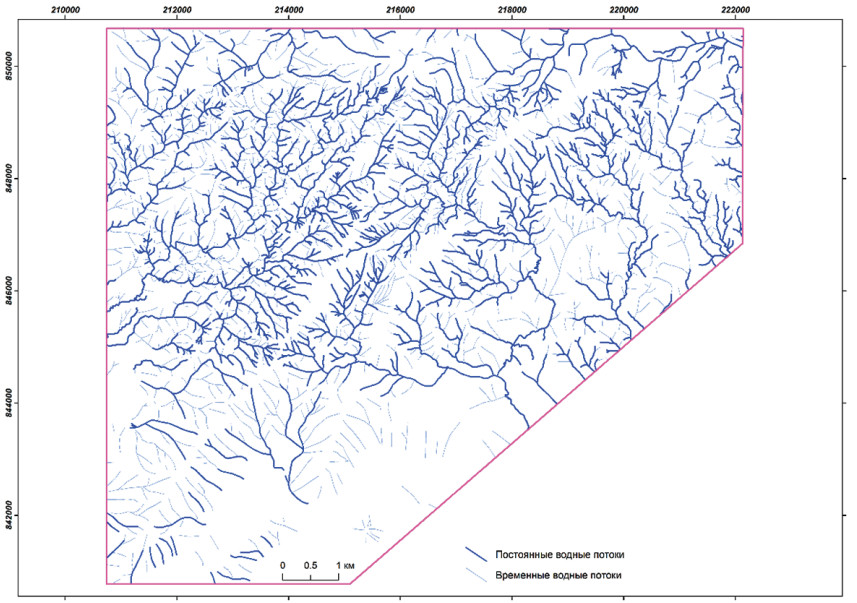


Рис. 20. Результат автоматической идентификации постоянных и временных водотоков по грид-модели рельефа, созданной инструментом *Топо в растр*

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

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* (рис. 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 *морфометриче-*

ских характеристик рельефа, таких как экспозиция и крутизна склонов (рис. 23). По ней также возможно рассчитывать зоны видимости, строить гипсометрические профили и др. [4; 6].

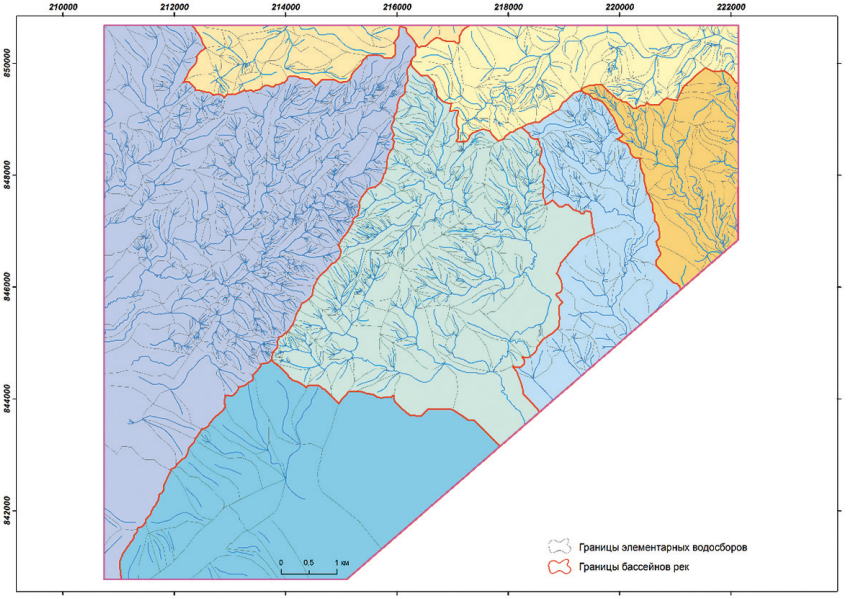


Рис. 21. Результат автоматической бассейновой и водосборной дифференциации территории по грид-модели рельефа, созданной инструментом *Topo в растр*

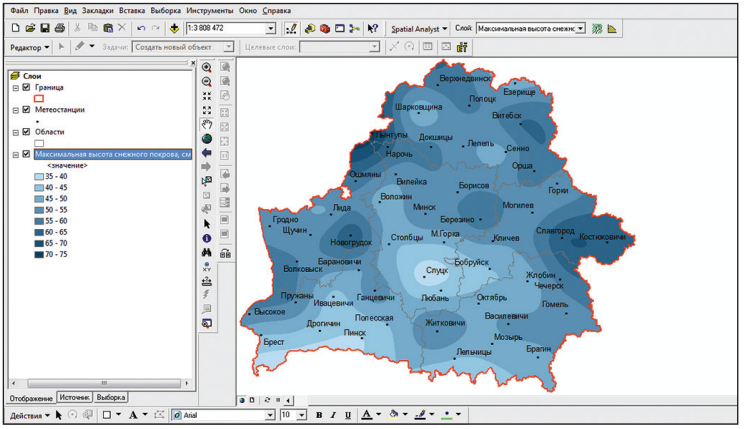
Картографирование расстояний средствами растрового ГИС-анализа позволяет определить пространственную взаимосвязь каждой ячейки по отношению к источнику или набору источников [6; 11]. В качестве примера можно привести расчет расстояний по отношению к слою метеостанций (рис. 24). По данной грид-модели можно проводить оптимизацию сети метеорологических наблюдений территории.

С помощью ***грид-моделей плотности*** в ГИС анализируется пространственное распределение точечных либо линейных векторных объектов [6; 11]. Примером такого растрового ГИС-анализа может служить расчет густоты дорог (рис. 25).

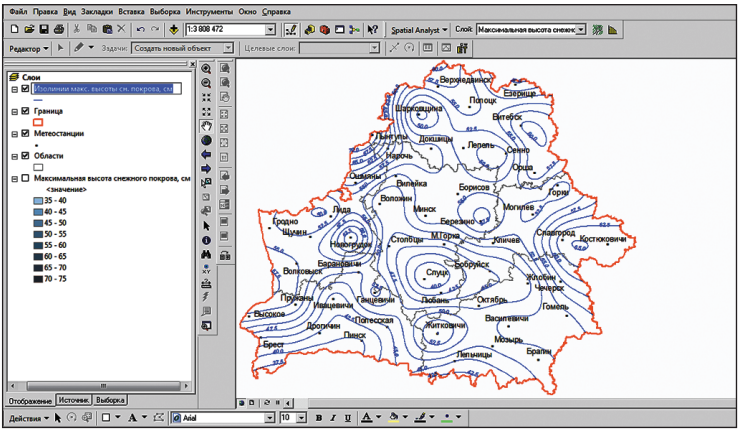
Основными задачами ***картографической растровой алгебры*** являются переклассификация грид-модели, а также выполнение различных математических и статистических операций с гридами [6; 11].

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, окрестности и зональную статистику.



а



б

Рис. 22. Пример создания по грид-модели (*а*) изолиний (*б*)

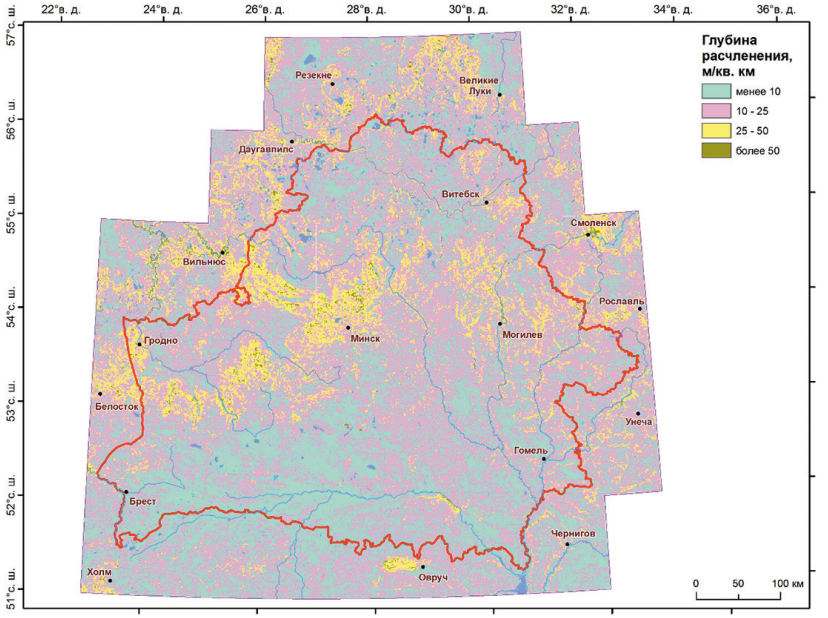


Рис. 23. Пример расчета глубины расчленения по грид-модели рельефа

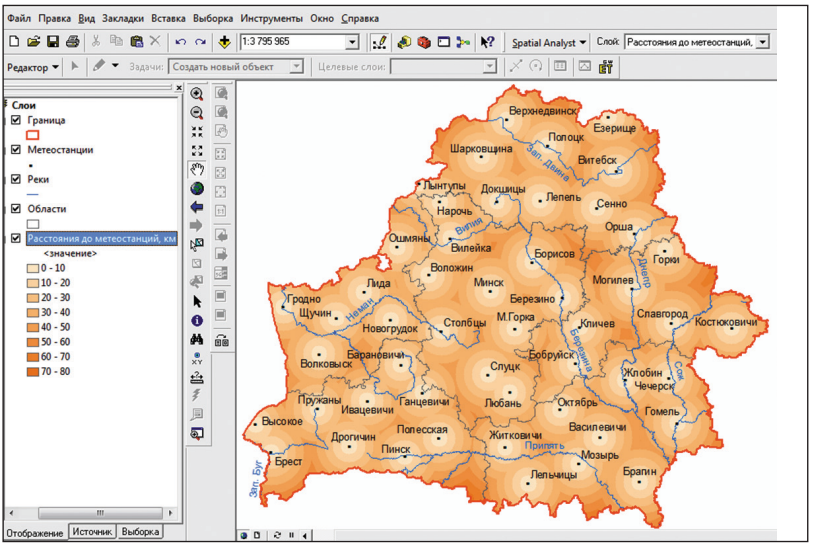


Рис. 24. Пример расчета грид-модели расстояний в ГИС

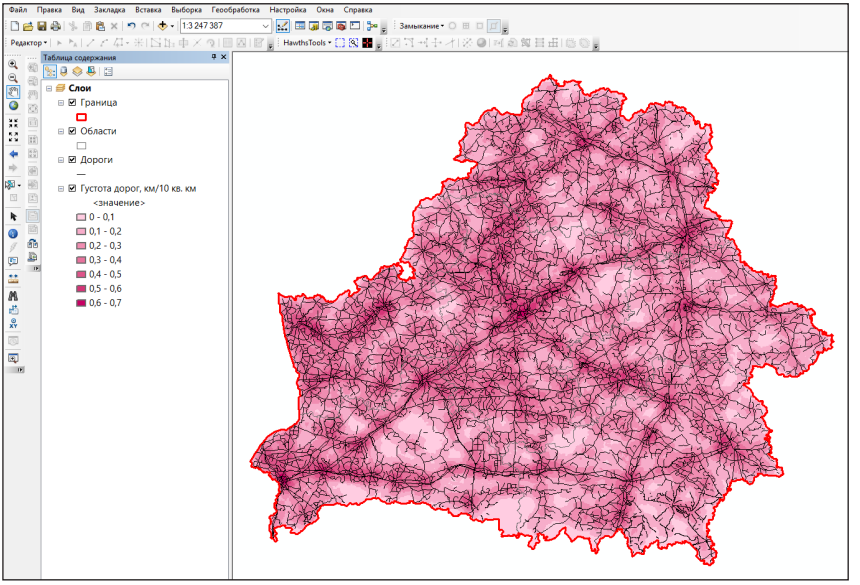


Рис. 25. Пример расчета грид-модели густоты дорожной сети

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 [12].

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 количество (менее 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, однознач-

но 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 (рис. 26) [5; 12].

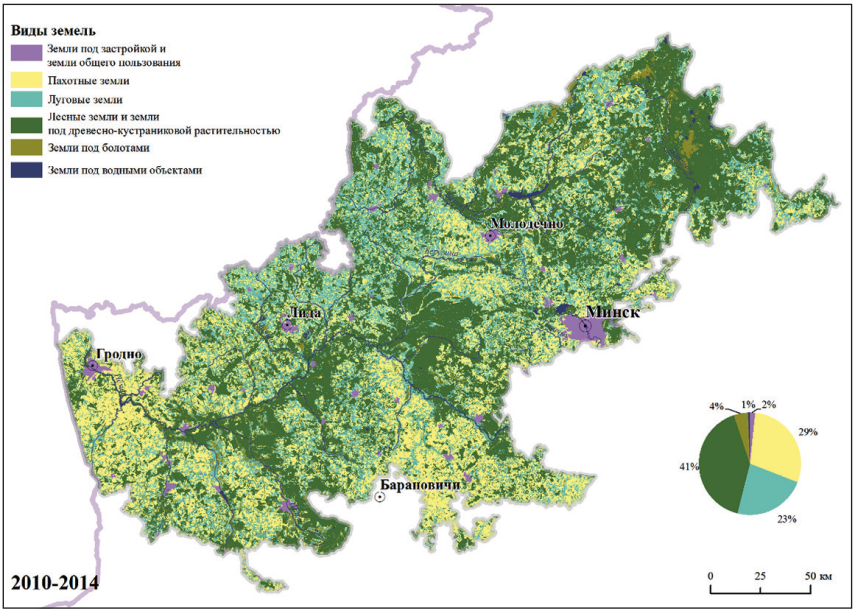


Рис. 26. Результат классификации с обучением видов земель Белорусской возвышенной провинции холмисто-моренно-эрозионных и вторично-моренных ландшафтов

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 объек-

там 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.

Результатом классификации (как с обучением, так и без обучения) служит растровое изображение, каждый из пикселов которого отнесен к определенному классу. Часто 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 [5]. *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 достоверности дешифрирования в целом. Оценка достоверности проводится и для визуального дешифрирования.

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 [13]. Он предоставляет сложные функции трехмерного и перспективного отображения, моделирования и анализа поверхностей (рис. 27). С помощью специальных инструментов можно вращать, а также просматривать поверхность «в полете» над ней, создавать трехмерные анимации. К 3D-поверхностям можно отсылать 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.

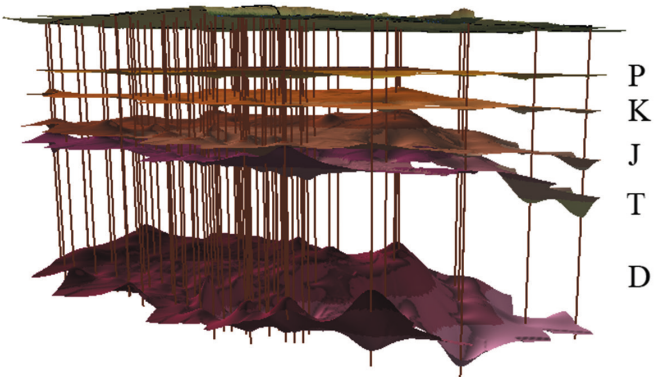


Рис. 27. Трехмерная модель месторождения калийных солей

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.

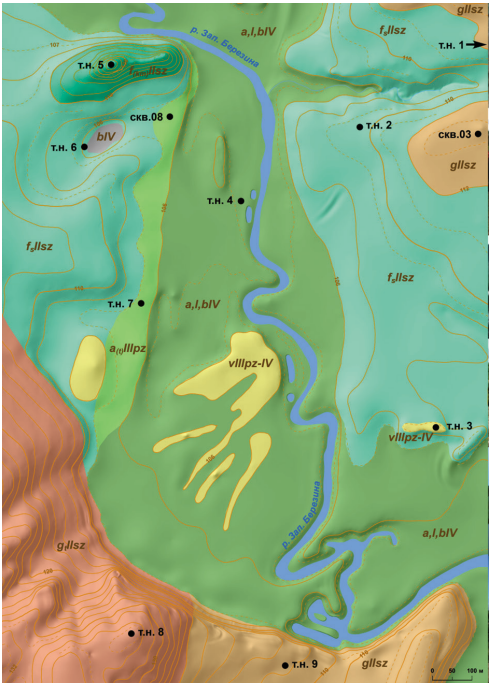
Для создания поверхностей могут использоваться разнообразные исходные данные. По этим поверхностям 3D Analyst может рассчитывать и показывать высоту точек, профили, изолинии, рельеф с отмывкой (рис. 28), линии наибольших уклонов и др.

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.



Условные обозначения:

Современное звено. Голоцен

b IV	Болотные отложения
a,l,b IV	Комплекс аллювиальных, озерных и болотных отложений поймы

Верхний плейстоцен-голоцен

V IIIpz–IV	Эоловые отложения

Верхний плейстоцен

$a_{(t)}$*IIIpz*	Аллювиальные отложения 1-й надпойменной террасы

Средний плейстоцен

Сожский стадиальный подгоризонт припятского ледникового горизонта

f_s *IIsz*	Водно-ледниковые зандровые отложения
$f_{(km)}$ *IIsz*	Водно-ледниковые камовые отложения
$g_{(t)}$ *IIsz*	Конечно-моренные отложения
gIIsz	Донно-моренные отложения

Рис. 28. Геологическая карта четвертичных отложений участка «Западная Березина» с эффектом трехмерного рельефа

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.

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 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, любых других организаций.

Среди продуктов компании ESRI выделяется ГИС CityEngine [10], которая позволяет выполнять трехмерное моделирование и планирова-

ние 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 (рис. 29);

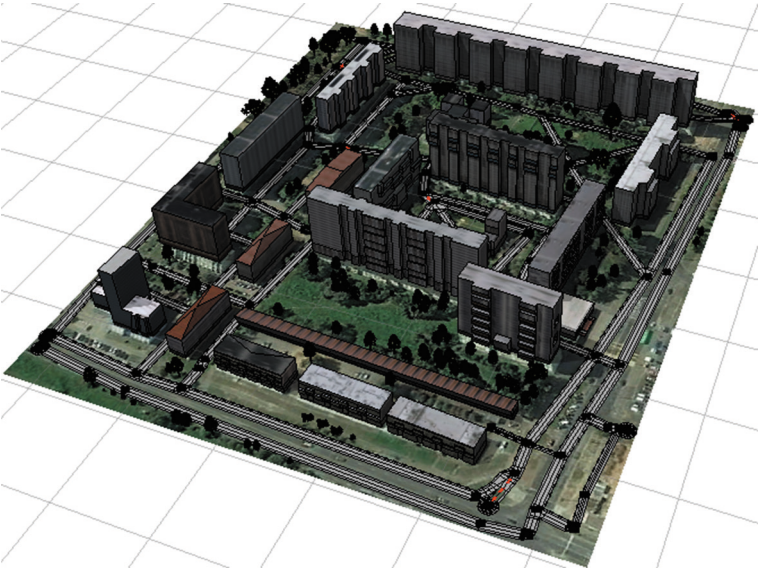


Рис. 29. Трехмерная модель участка г. Минска

• 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;

• экспортировать созданные 3D-модели в другие программные пакеты (AutoDesk, Maya, Unity, Unreal и др.);

• импортировать объекты из программ 3D-моделирования (Wavefront .obj, Collada .dae, .kml и .kmz).

Лабораторная работа 1

Использование векторного ГИС-анализа при выявлении формантов ойконимов

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

Исходные данные: база геоданных (БГД) «Формантный анализ», содержащая в себе следующие классы пространственных объектов:

«Населенные_пункты» – точечный класс населенных пунктов Беларуси; «Районы» – полигональный класс районов Беларуси.

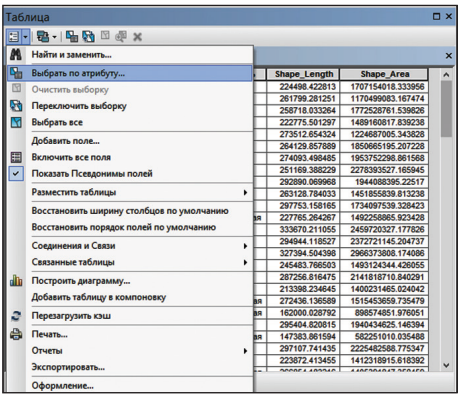
Ход работы

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Топонимика». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

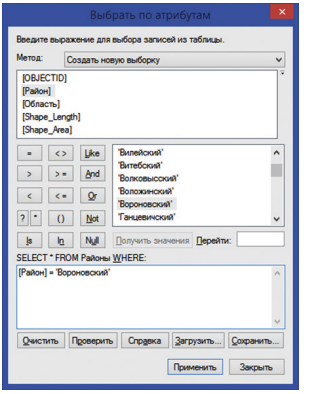
Шаг 2. Добавьте в проект все классы пространственных объектов БГД «Формантный анализ» («Населенные_пункты», «Районы»), воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 3. Откройте атрибутивную таблицу слоя «Районы» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Выбрать по атрибуту* (рис. 1.1, *а*). В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* сформируйте SQL-запрос [Район] = ‘Вороновский’. Для этого выполните следующую последовательность: двойной клик мышью по полю атрибутивной таблицы «Район», затем по оператору «=» и значению «Вороновский» (используйте кнопку *Получить значения*) (рис. 1.1, *б*). После этого нажмите кнопку *Применить*. В результате SQL-запроса полигон Вороновского района Гродненской области будет выбран.

Шаг 4. Экспортируйте полигон Вороновского района из слоя «Районы» в отдельный класс пространственных объектов БГД «Формантный анализ». Для этого закройте атрибутивную таблицу слоя (обратите внимание, что выбранный по атрибутам объект остается выделенным). Осуществите экспорт выбранных данных путем клика правой кнопкой мыши по слою «Районы», затем выберите *Данные → Экспорт данных*. Сохраните новый класс пространственных объектов под именем «Вороновский_район» в набор классов пространственных объектов «Слои» БГД «Формантный анализ». Согласитесь добавить экспортированные данные в проект. Также снимите выборку объектов слоя «Районы» в меню *Выборка → Очистить выбранные объекты*.



а



б

Рис. 1.1

Отключите отображение слоя «Районы» (уберите галочку для этого слоя в таблице содержания).

Шаг 5. Выполните вырезание населенных пунктов Беларуси по границе Вороновского района. Для этого откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Вырезание* (*Анализ → Извлечение → Вырезание*). В окне инструмента (рис. 1.2) в разделе *Входные объекты* выберите слой «Населенные_пункты», в разделе *Вырезающие объекты* – слой «Вороновский_район». Выходной класс объектов сохраните под именем «Поселения_Вороновский_район» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Формантный анализ». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой.

Отключите отображение слоя «Населенные_пункты» (уберите галочку для этого слоя в таблице содержания).

Приблизьте экстент проекта к слою «Вороновский_район» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Приблизить к слою*).

Шаг 6. Выполните символизацию слоя «Вороновский_район». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него следующие параметры: *Цвет заполнения* – светло-желтый (юкка), *Цвет контура* – черный, *Ширина контура* – 1.

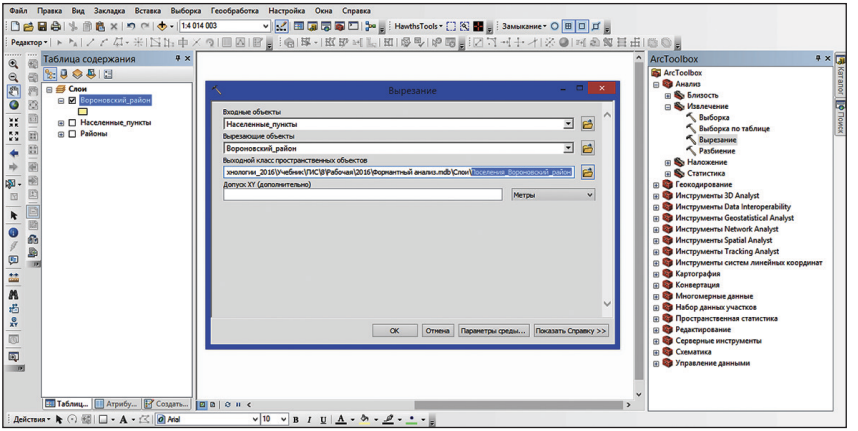


Рис. 1.2

Аналогично подберите символизацию по методу *Единый символ* для слоя «Поселения_Вороновский_район». Выберите для него следующие параметры: *Символ* – «Круг 2», *Цвет* – красный, *Размер* – 5.

Создайте надписи объектов слоя «Поселения_Вороновский_район». В свойствах слоя, закладке *Надписи* отметьте галочкой опцию *Надписать объекты этого слоя*, выберите полем надписи «Название» и символизируйте надписи: *Шрифт* – Arial, *Размер* – 8, *Цвет* – черный (рис. 1.3).

Шаг 7. Осуществите выполнение *формантного анализа ойконимов* Вороновского района. Следует напомнить, что ойконимы являются одним из топонимических классов, который объединяет в себе названия населенных пунктов. Формантный анализ представляет собой один из лингвистических методов топонимических исследований, базиру-

ющийся на изучении массово повторяющихся конечных элементов названий (суффиксов, окончаний), и позволяет с определенной степенью достоверности судить о времени появления топонимов, их лингвистической и этнической принадлежности. В табл. 1.1 представлены наиболее характерные форманты ойконимов Беларуси. В результате ГИС-анализа необходимо сгруппировать все ойконимы Вороновского района по формантным группам и происхождению.

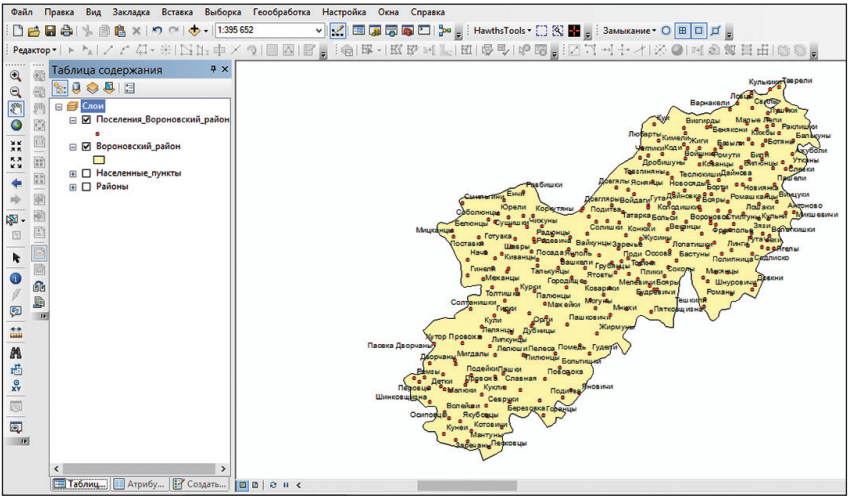


Рис. 1.3

Таблица 1.1

Характерные форманты ойконимов Беларуси

Форманты славянского происхождения		
-ичи, -ычи, -чи	-ка, -вка, -вки	-ск, -цк
-еж	-ль, -вль, -ля	-ско, -цко, -ское, -цкое
-ец	-ов, -ев, -ова, -ева, -ово, -ево, -овы, -евы	-ха
-ея	-омль, -мль	-щина, -щизна
-ин, -ина, -ино, -ины	-ры	-ье
-ицы, -ица, -цы	-ский	-яне, -ане
-ище	-сады, -сяды	

Окончание табл. 1.1

Форманты балтского происхождения		
-ава	-еке	-ники*
-аны*, -яны*, -ены	-ите	-ти
-ата, -ята, -ета	-ишки, -шки*	-уны, -юны
-ать, -еть, -оть*	-ли	-упе
-ауна	-ло, -ля, -лы*	-шикис
-ги	-ненты	
-ель, -ели, -эли, -оля	-ни*, -ини	

** Смешанного либо неустановленного происхождения.*

Откройте атрибутивную таблицу слоя «Поселения_Вороновский_ район» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Добавить поле*. В окне *Добавить поле* обозначьте *Имя* – Формант, *Тип* – Text. Аналогичным образом создайте новое поле *Происхождение* (*тип* – Text).

Начните сеанс редактирования (*Редактор* → *Начать редактирование*). В таблице атрибутов слоя «Поселения_Вороновский_район» нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Выбрать по атрибутам*. В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* сформируйте SQL-запрос [Название] Like '*ичи' (рис. 1.4). Для этого выполните следующую последовательность: двойной клик мышью по полю атрибутивной таблицы «Название», затем по оператору Like и с использованием клавиатуры набрать «'*ичи'» (первый формант группы «-ичи, -ычи, -чи» в табл. 1.1). Символ * здесь означает любое количество произвольных букв перед формантом. После формирования SQL-запроса нажмите кнопку *Применить*. В результате населенные пункты, содержащие обозначенный формант, будут выбраны. Для их просмотра нажмите кнопку *Показать выбранные записи*, расположенную в нижней части таблицы атрибутов.

Откройте инструмент *Атрибуты*. В появившемся окне *Атрибуты* нажмите на группу значений «Поселения_Вороновский_район» (расположена в верхней части окна), затем – на пустую строку напротив поля *Формант*. Введите название группы формантов «-ичи, -ычи, -чи», к которой относится данная выборка (рис. 1.5).

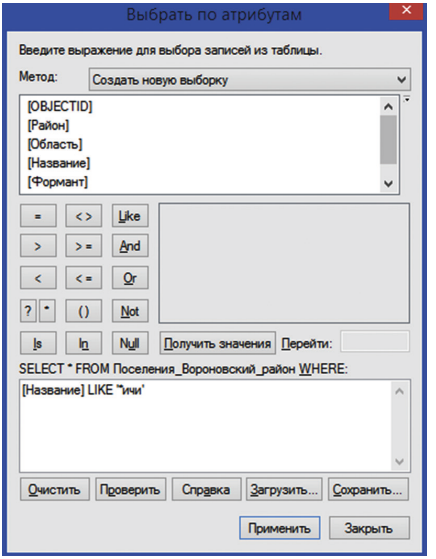


Рис. 1.4

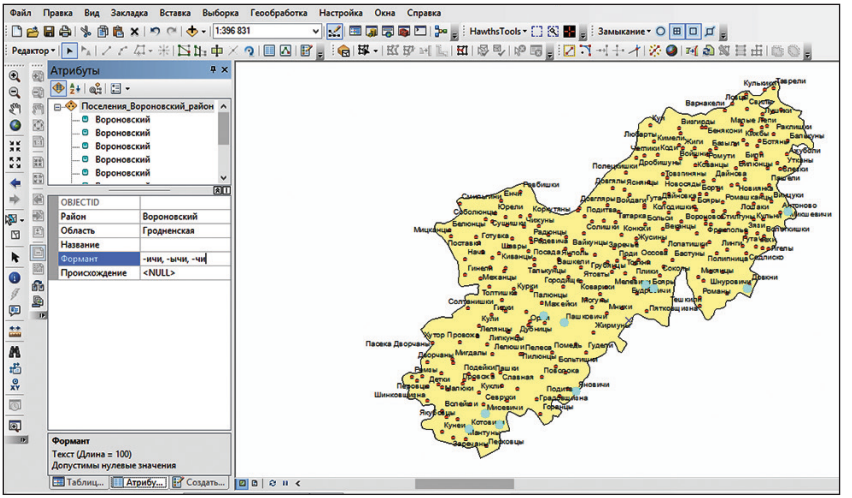


Рис. 1.5

В окне *Атрибуты* в пустой строке, расположенной напротив поля *Происхождение*, введите происхождение группы формантов – «славянское». После этого вновь откройте таблицу атрибутов слоя «Поселения_

Вороновский_район» и нажмите кнопку *Показать все записи*, расположенную в нижней части таблицы атрибутов.

Аналогичным образом сформируйте SQL-запросы по выборке формантов «-ычи» и «-чи», входящих в данную группу. В случае их обнаружения с помощью инструмента *Атрибуты* задайте для данных векторов название формантной группы и их происхождение.

По обозначенному алгоритму проверьте в атрибутах слоя «Поселения_Вороновский_район» наличие всех формантов согласно табл. 1.1. В случае их нахождения заполните поля *Формант* и *Происхождение*. При вероятности смешанного либо неустановленного происхождения формантов следует выполнить ручной контроль каждого названия выборки в окне *Атрибуты*.

Ойконимы, в которых формант не выявлен, следует закодировать значением «нет форманта» в поле *Формант*. В поле *Происхождение* данных населенных пунктов следует самостоятельно экспертным путем установить их происхождение.

Шаг 8. Выполните символизацию слоя «Поселения_Вороновский_район» по методу уникальных значений. Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Категории: Уникальные значения*. В качестве поля значений обозначьте *Формант*. После этого нажмите кнопку *Добавить все*. В результате символизации по методу уникальных значений будут добавлены все группы формантов. Используйте символы разных цветов, но одной формы: треугольник – для групп славянского происхождения, круг – для групп балтского происхождения, квадрат – для названий, формант которых имеет неустановленное либо смешанное происхождение (рис. 1.6).

Шаг 9. Создайте *формантные ареалы* Вороновского района путем построения полигонов Тиссена. Для этого откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Создать полигоны Тиссена* (*Анализ* → *Близость* → *Создать полигоны Тиссена*). В окне инструмента (рис. 1.7) в разделе *Входные объекты* выберите слой «Поселения_Вороновский_район», выходной класс объектов сохраните под именем «Формантные_ареалы» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Формантный анализ», в качестве выходных полей установите опцию *All*. После этого нажмите кнопку *Параметры среды*. В окне *Параметры среды* в разделе *Экстент обработки* выберите в рубрике *Экстент* опцию *Как у слоя Вороновский_район*. После необходимых расчетов программа добавит в проект слой формантных ареалов.

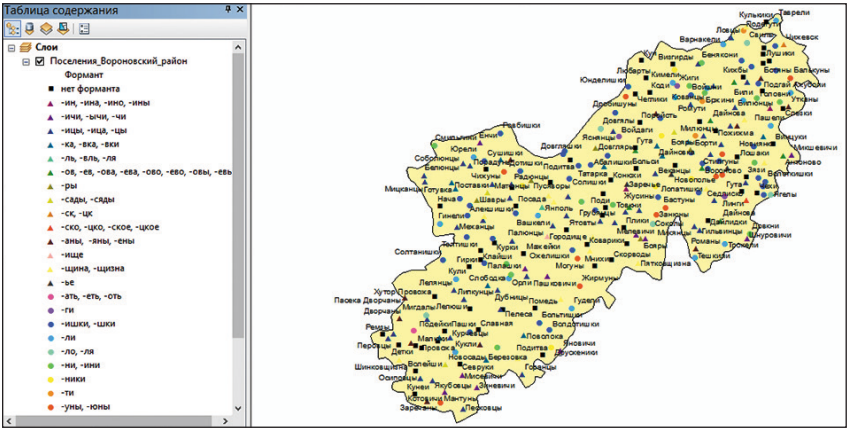


Рис. 1.6

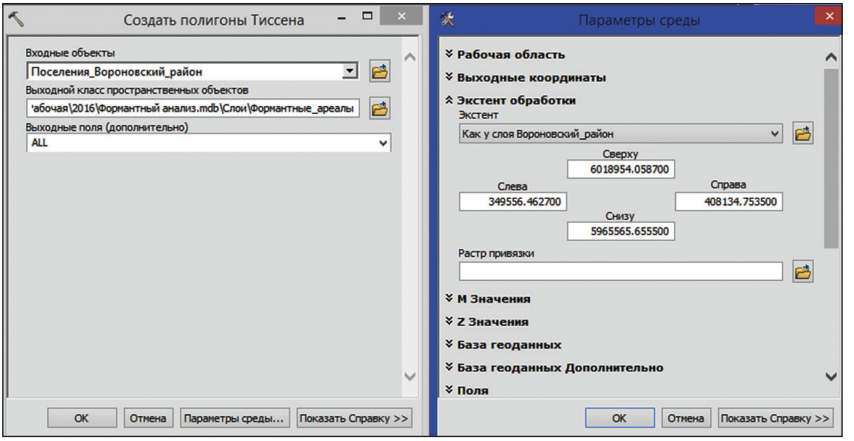


Рис. 1.7

Шаг 10. Выполните вырезание формантных ареалов по границе Вороновского района. Для этого откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Вырезание* (*Анализ* → *Извлечение* → *Вырезание*). В окне инструмента в поле *Входные объекты* выберите слой «Формантные_ареалы», в поле *Вырезающие объекты* – слой «Вороновский_район». Выходной класс объектов сохраните под именем «Формантные_ареалы_вырезание» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Формантный анализ». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой.

Удалите слой «Формантные_ареалы» из проекта (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Удалить*).

Шаг 11. Выполните символизацию слоя «Формантные_ареалы_вырезание» по методу уникальных значений (рис. 1.8). Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Категории: Уникальные значения*. В качестве поля значений обозначьте *Происхождение*. После этого нажмите кнопку *Добавить все*. В результате символизации по методу уникальных значений будут добавлены все варианты происхождения ойконимов. Подберите для ареалов славянского происхождения светло-зеленую заливку без контура, для ареалов балтского происхождения – голубую заливку без контура, для ареалов смешанного либо неустановленного происхождения – комплексную двухцветную заливку без контура (см. рис. 1.8).

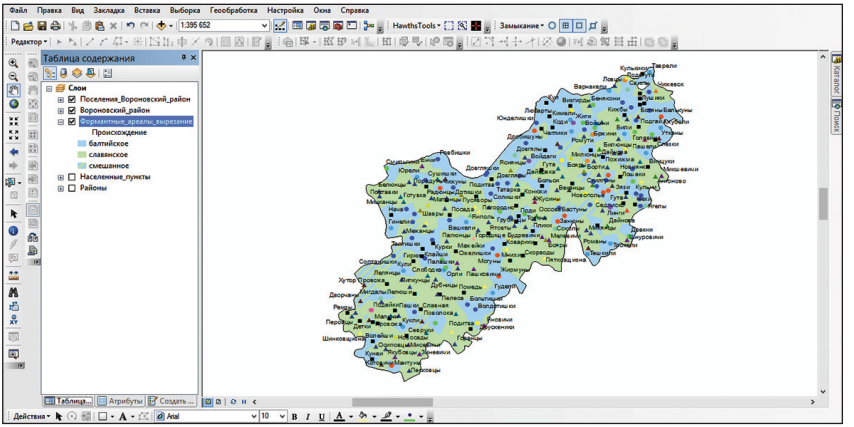


Рис. 1.8

Контрольные вопросы

1. Перечислите основную последовательность шагов по выполнению формантного ГИС-анализа ойконимов в среде ArcGIS.

2. Какие операции элементарного пространственного ГИС-анализа были применены при выполнении задания?

3. Перечислите операции расширенного пространственного ГИС-анализа, использованные при выполнении задания.

4. В каких отраслях науки о Земле и для каких целей применим способ построения полигонов Тиссена?

5. Какие типы оверлейных операций были использованы при выполнении задания?

Лабораторная работа 2

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

Цель: 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.

Исходные данные: БГД «Воложин», содержащая в себе следующие классы пространственных объектов: «Граница_города», «Земельные_участки», «ЛЭП», «Реки», «Рекреационно_ландшафтные_зоны», «Узлы_сети_сброса_сточных_вод», «Улично_дорожная_сеть».

Ход работы

В лабораторной работе для выбора местоположения земельного участка под новое строительство предлагается использовать следующие *критерии*:

1) в зоне на расстоянии не более 250 м от объектов гидрографии (в целях оптимизации стоимости трубопровода для сброса очищенных вод);

2) в зоне на расстоянии не более 50 м от линий электропередачи (в целях оптимизации стоимости подключения станции к электрической сети);

3) в зоне на расстоянии не менее 10 м от жилой застройки, общественных центров и рекреационно-ландшафтной зоны (в целях минимизации неудобств для юридических и физических лиц);

4) на свободном, не имеющем землевладельца участке (для оптимизации стоимости его покупки);

5) в зоне на расстоянии до 10 м от существующей дороги (для оптимизации транспортной доступности станции);

6) в зоне на расстоянии до 250 м от узлов сети сброса сточных вод (в целях оптимизации стоимости трубопровода для подвода хозяйственно-бытовых сточных вод);

7) площадь должна составлять не менее 2500 м^2 (для обеспечения пространственным базисом технологического процесса функционирования станции).

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Станция очистки сточных вод». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Шаг 2. Добавьте в проект все классы пространственных объектов БГД «Воложин» («Граница_города», «Земельные_участки», «ЛЭП», «Реки», «Рекреационно_ландшафтные_зоны», «Узлы_сети_сброса_сточных_ вод», «Улично_дорожная_сеть»), воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 3. Выполните символизацию слоя «Граница_города». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него следующие параметры: *Цвет заполнения* – нет, *Цвет контура* – черный, *Ширина контура* – 1,5.

Аналогично подберите символизацию по методу *Единый символ* для остальных слоев: для слоя «ЛЭП» – линию коричневого цвета (темный янтарь) шириной 0,5; для слоя «Реки» – линию синего цвета (критский синий) шириной 1,5; для слоя «Рекреационно_ландшафтные_зоны» – полигон с зеленым цветом заполнения (зеленый лист) и шириной контура 0; для слоя «Узлы_сети_сброса_сточных_вод» – точку типа «Круг 2» красного цвета (красный марс) размером 6; для слоя «Улично_дорожная_сеть» – полигон с оранжевым цветом заполнения (янтарно-золотой) и шириной контура 0.

Для слоя «Земельные участки» выберите символизацию по методу *Категории: Уникальные значения*. В качестве поля значений укажите «Тип». После этого нажмите кнопку *Добавить все*. Подберите для участков, входящих в зону жилой застройки, светло-желтый цвет (юкка), для участков зоны общественных центров – розовый кварц, для участков, включенных в производственные и коммунально-складские зоны, – серо-оранжевый, свободных участков – сиреневый (рис. 2.1).

Шаг 4. Выявите территории, отвечающие *первому* и *второму* намеченным критериям (расположение участка нового строительства в зоне на расстоянии не более 250 м от объектов гидрографии и в зоне на расстоянии не более 50 м от линий электропередачи.

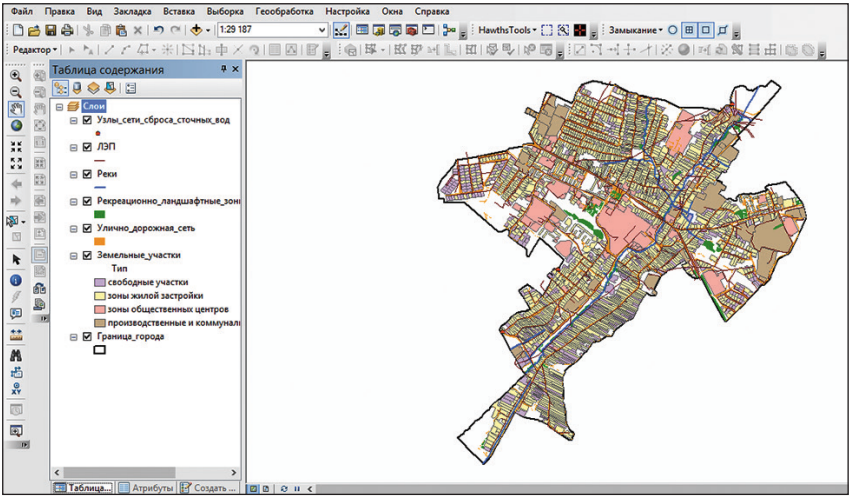


Рис. 2.1

Откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Буфер* (*Анализ* → *Близость* → *Буфер*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Реки», выходной класс объектов сохраните под именем «Реки_буфер» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». Остальные параметры обозначьте аналогично рис. 2.2. После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой.

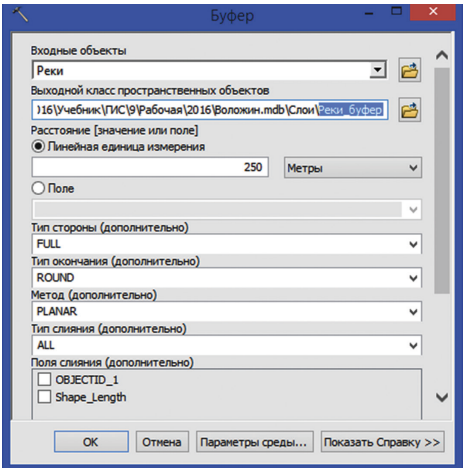


Рис. 2.2

Вырежьте созданный слой «Реки_буфер» по границе города. Для этого в окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Вырезание* (*Анализ* → *Извлечение* → *Вырезание*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Реки_буфер», в разделе *Вырезающие объекты* – слой «Граница_города». Выходной класс объектов сохраните под именем «Реки_буфер_вырезание» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой (рис. 2.3). Слой «Реки_буфер» следует удалить из проекта (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Удалить*).

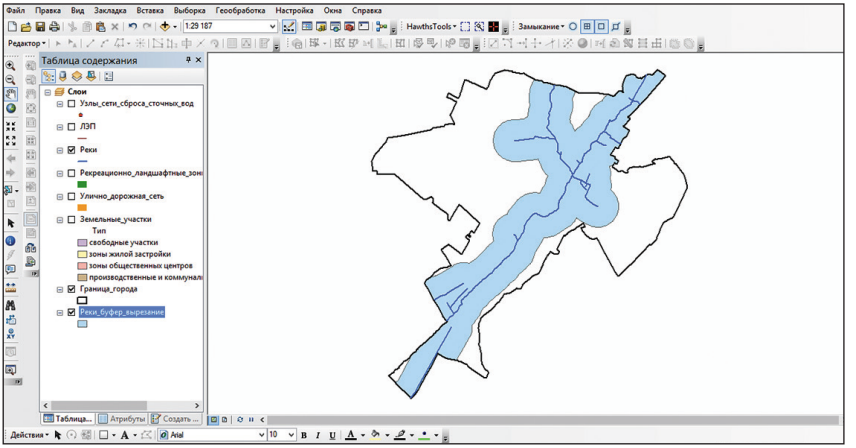


Рис. 2.3

Аналогичным образом постройте буферную зону в 50 м от объектов слоя «ЛЭП» (слой «ЛЭП_буфер»). Произведите вырезание слоя «ЛЭП_буфер» по слою «Границы_города». Результат сохраните под именем «ЛЭП_буфер_вырезание» (рис. 2.4). Слой «ЛЭП_буфер» удалите из проекта.

Выполните наложение 250-метровой зоны объектов гидрографии и 50-метровой зоны ЛЭП. В окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Пересечение* (*Анализ* → *Наложение* → *Пересечение*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слои «Реки_буфер_вырезание» и «ЛЭП_буфер_вырезание». Выходной класс объектов сохраните под именем «Реки_и_ЛЭП_буфер» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой (рис. 2.5). Слои «Реки_буфер_вырезание» и «ЛЭП_буфер_вырезание» удалите из проекта.

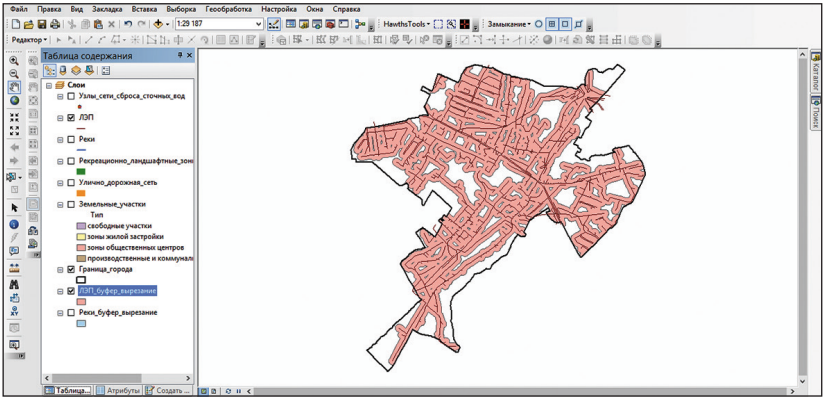


Рис. 2.4

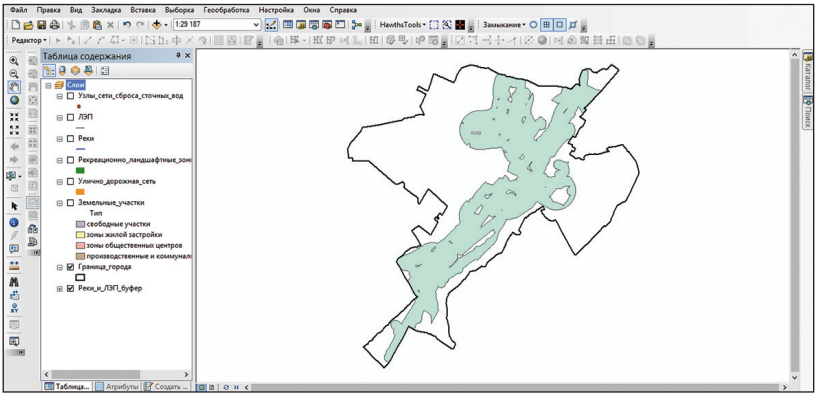


Рис. 2.5

Шаг 5. Выявите территории, не отвечающие *третьему* критерию (расположение участка нового строительства в зоне на расстоянии не менее 10 м от жилой застройки, общественных центров и объектов рекреационно-ландшафтного назначения).

В окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Буфер* (*Анализ* → *Близость* → *Буфер*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Рекреационно_ландшафтные_зоны», выходной класс объектов сохраните под именем «Рекреация_буфер» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». В поле *Расстояние* наберите 10 м, *Тип слияния* – параметр All. После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой.

Выполните вырезание созданного слоя «Рекреация_буфер» по границе города. В окне *ArcToolbox* выберите инструмент *Вырезание* (*Анализ* → *Извлечение* → *Вырезание*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Рекреация_буфер», в разделе *Вырезающие объекты* – слой «Граница_города». Выходной класс объектов сохраните под именем «Рекреация_буфер_вырезание» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой (рис. 2.6). Слой «Рекреация_буфер» удалите из проекта (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Удалить*).

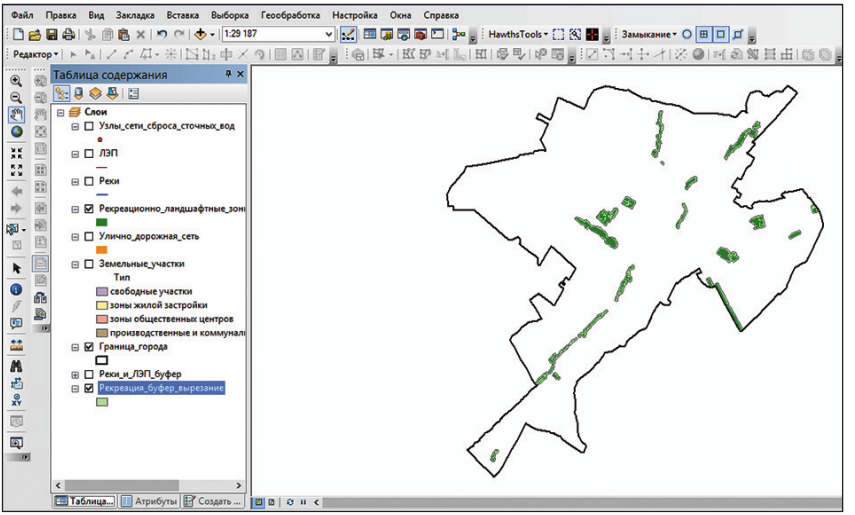
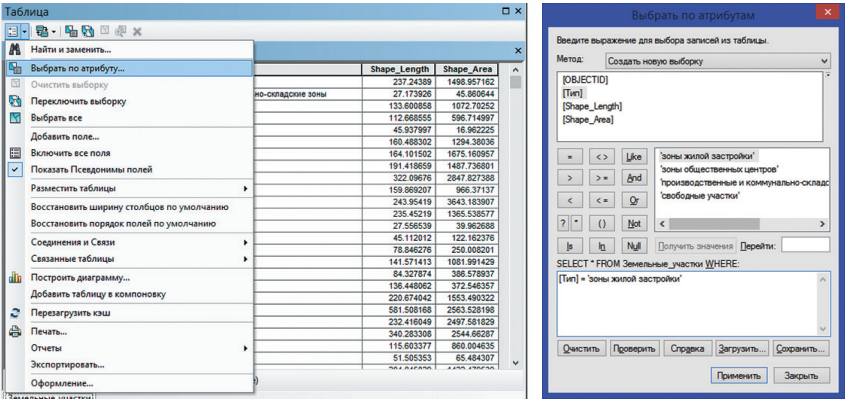


Рис. 2.6

Откройте атрибутивную таблицу слоя «Земельные_участки» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Выбрать по атрибуту* (рис. 2.7, *а*). В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* сформируйте SQL-запрос [Тип] = ‘зоны жилой застройки’. Для этого выполните следующую последовательность: двойной клик по полю атрибутивной таблицы «Тип», затем по оператору «=» и по значению зоны жилой застройки (используйте кнопку *Получить значения*) (рис. 2.7, *б*). После этого нажмите кнопку *Применить*. В результате SQL-запроса будут выбраны полигоны земельных участков, относящихся к зоне жилой застройки.



а *б*

Рис. 2.7

Закройте таблицу слоя «Земельные_участки» (обратите внимание, что выбранные объекты остались выделенными). Постройте буферную зону в 10 м от выделенных объектов зоны жилой застройки (слой «Жилая_застройка_буфер»). Произведите вырезание слоя «Жилая_застройка_буфер» по слою «Границы_города». Результат сохраните под именем «Жилая_застройка_буфер_вырезание» (рис. 2.8). Слой «Жилая_застройка_буфер» удалите из проекта. Снимите выборку объектов в меню *Выборка* → *Очистить выбранные объекты*.

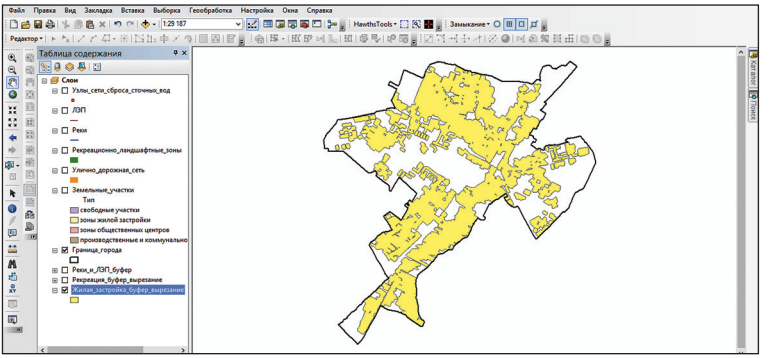


Рис. 2.8

Из таблицы атрибутов слоя «Земельные_участки» с помощью инструмента *Выбрать по атрибуту* выберите объекты, относящиеся к зоне общественных центров. Постройте буферную зону в 10 м от выделенных

участков (слой «Общественные_центры_буфер»). Произведите вырезание слоя «Общественные_центры_буфер» по слою «Границы_города». Результат сохраните под именем «Общественные_центры_буфер_вырезание» в БГД «Воложин» (рис. 2.9). Слой «Общественные_центры_буфер» удалите из проекта. Снимите выборку объектов в меню *Выборка → Очистить выбранные объекты*.

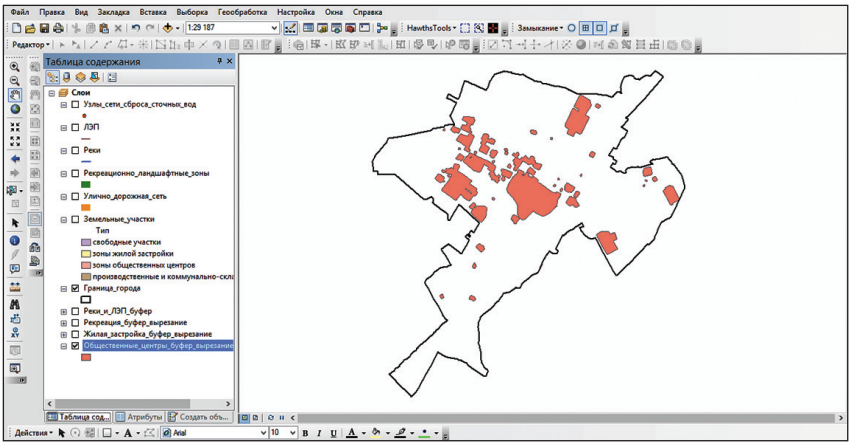


Рис. 2.9

Произведите объединение 10-метровых буферных зон, отделяющих жилую застройку, общественные центры и объекты рекреационно-ландшафтного назначения. Для этого откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Объединение* (*Анализ → Наложение → Объединение*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слои «Рекреация_буфер_вырезание», «Жилая_застройка_буфер_вырезание» и «Общественные_центры_буфер_вырезание». Выходной класс объектов сохраните под именем «Рекреация_застройка_центры_буфер» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой (рис. 2.10).

Удалите из проекта слои «Рекреация_буфер_вырезание», «Жилая_застройка_буфер_вырезание» и «Общественные_центры _буфер_вырезание».

Шаг 6. Выявите земельные участки, отвечающие *четвертому* критерию (располагаются на свободном, не имеющем землевладельца участке). Для этого в окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Выборка* (*Ана-*

лиз → *Извлечение* → *Выборка*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Земельные_участки». Выходной класс объектов сохраните под именем «Свободные_участки» в наборе классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». Нажмите кнопку *SQL* и создайте следующее выражение: [Тип] = ‘свободные участки’. После необходимых расчетов программа добавит в проект созданный слой (рис. 2.11).

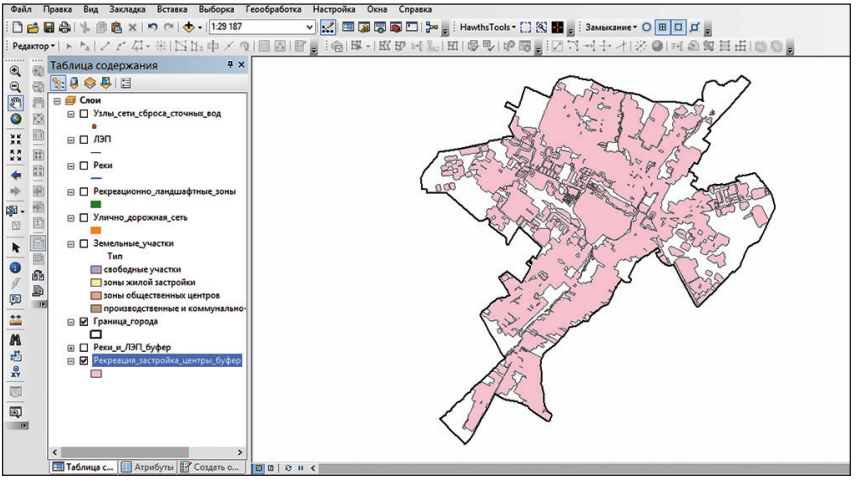


Рис. 2.10

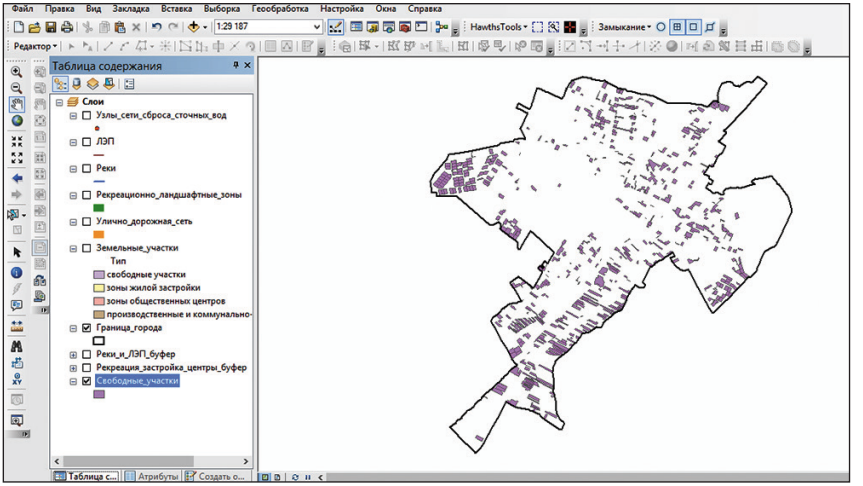


Рис. 2.11

Шаг 7. Выявите участки, отвечающие *первому* и *второму* критериям (должны полностью находиться в 250-метровой зоне рек и 50-метровой зоне ЛЭП). Для этого используйте опцию *Выбрать по расположению* (*Выборка → Выбрать по расположению*). В диалоговом окне установите параметры, аналогичные рис. 2.12. Нажмите *OK* (рис. 2.13).

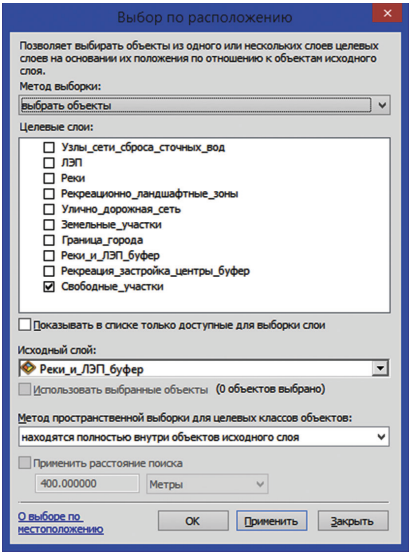


Рис. 2.12

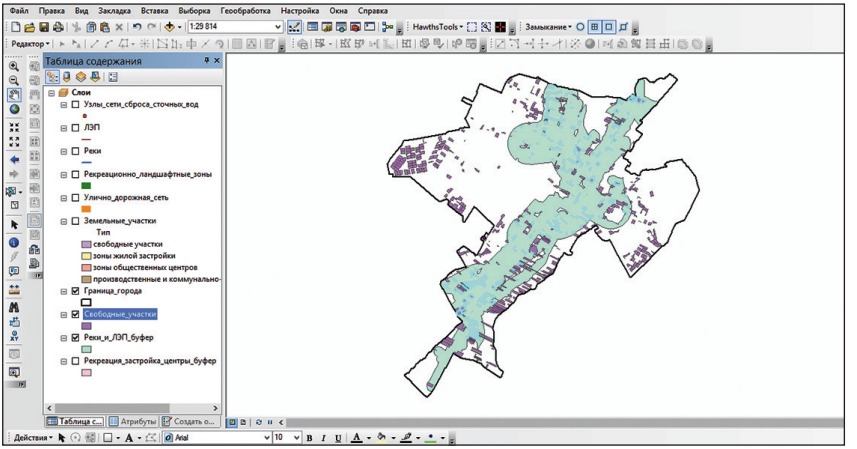


Рис. 2.13

Шаг 8. В текущей выборке оставьте только те участки, которые также отвечают и *третьему* критерию (полностью находятся в зоне на расстоянии не менее 10 м от жилой застройки, общественных центров и объектов рекреационно-ландшафтного назначения). Для этого вновь воспользуйтесь опцией *Выбрать по расположению*. В диалоговом окне установите параметры, аналогичные рис. 2.14. Нажмите *OK* (рис. 2.15).

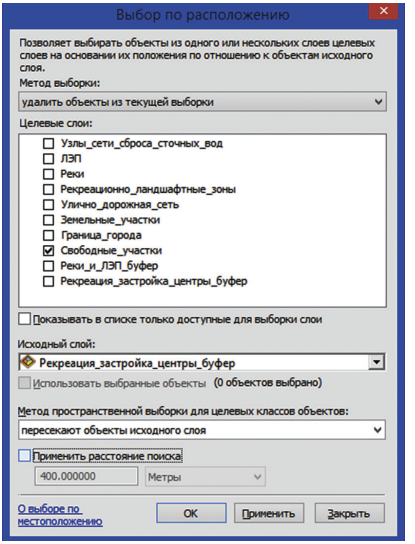


Рис. 2.14

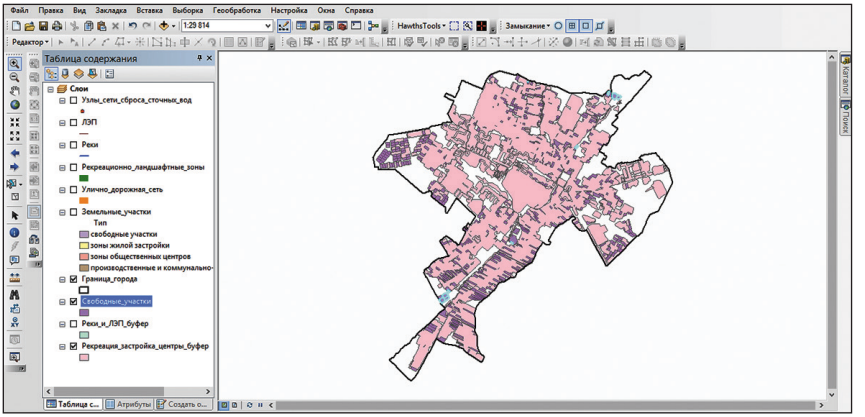


Рис. 2.15

Шаг 9. Из текущей выборки выберите участки, которые отвечают также *пятому* критерию (полностью находятся в зоне на расстоянии до 10 м от существующей улично-дорожной сети). Опять используйте *Выбрать по расположению*. В диалоговом окне установите параметры, аналогичные рис. 2.16. Нажмите *OK* (рис. 2.17).

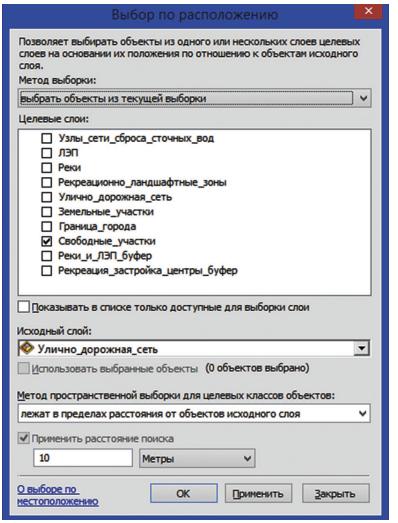


Рис. 2.16

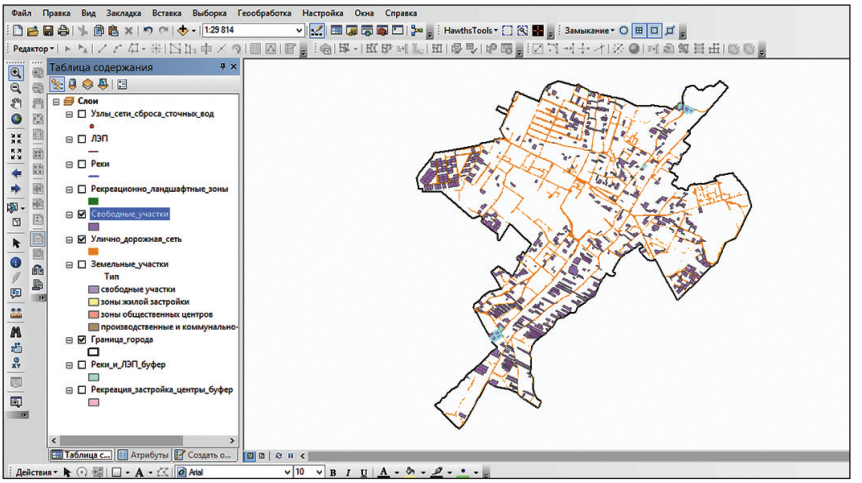


Рис. 2.17

Шаг 10. Выявите участки, отвечающие *шестому* критерию (должны полностью находиться в зоне на расстоянии до 250 м от узлов сети сброса сточных вод). Повторите операцию *Выбрать по расположению*. В диалоговом окне установите параметры, аналогичные рис. 2.18. Нажмите *OK* (рис. 2.19).

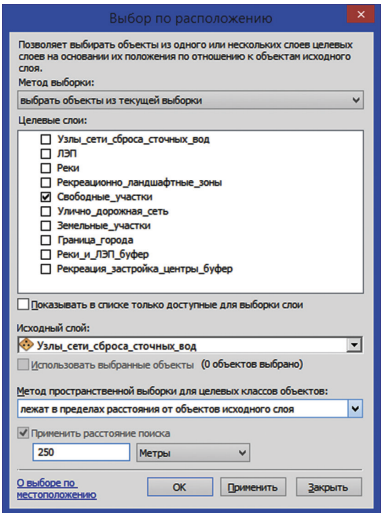


Рис. 2.18

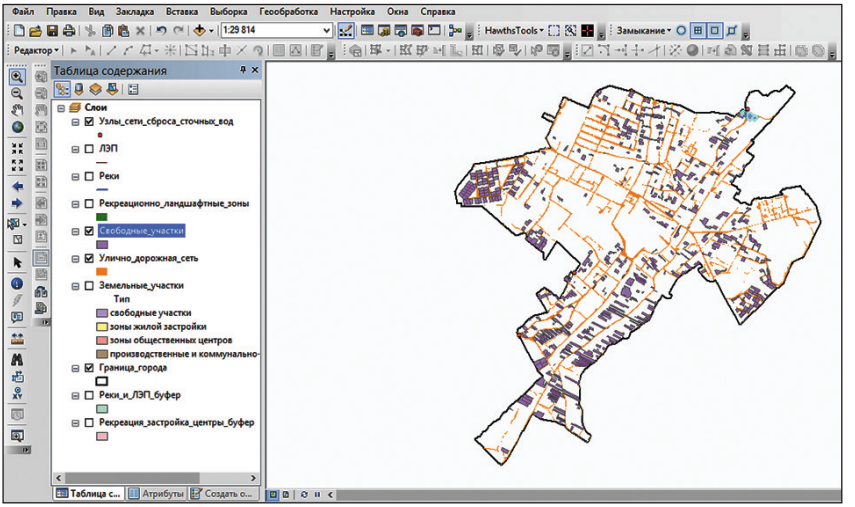


Рис. 2.19

Шаг 11. Откройте атрибутивную таблицу слоя «Свободные_участки» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите кнопку *Показать выбранные записи*, расположенную в нижней части таблицы атрибутов. В таблице будут отображены участки, отвечающие критериям 1–6.

Нажмите кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Выбрать по атрибуту*. В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* в качестве метода выберите *Выбрать из текущей выборки*. Сформируйте SQL-запрос [Shape_Area] >= 2500. После этого нажмите кнопку *Применить*. В результате SQL-запроса будут выбраны полигоны земельных участков, отвечающие *седьмому* критерию (площадь участка станции водоочистки должна составлять не менее 2500 м^2).

Экспортируйте выбранную в результате векторного ГИС-анализа площадку для новой станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в г. Воложине из слоя «Свободные_участки» в отдельный класс пространственных объектов БГД «Воложин». Для этого закройте атрибутивную таблицу слоя (обратите внимание, что выбранный по атрибутам объект остается выделенным). Осуществите экспорт выбранных данных путем клика правой кнопкой мышки по слою «Свободные_участки», затем *Данные* → *Экспорт данных*. Сохраните новый класс пространственных объектов под именем «Результат_анализа» в набор классов пространственных объектов «Слои» БГД «Воложин». Согласитесь добавить экспортированные данные в проект.

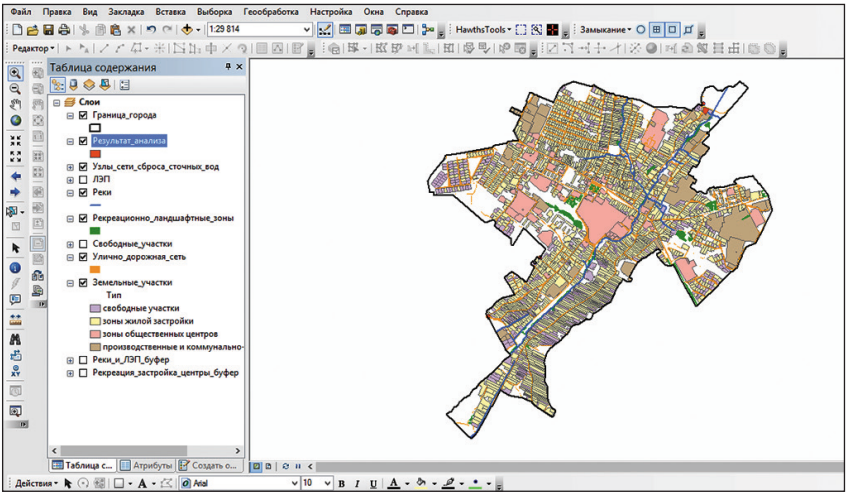


Рис. 2.20

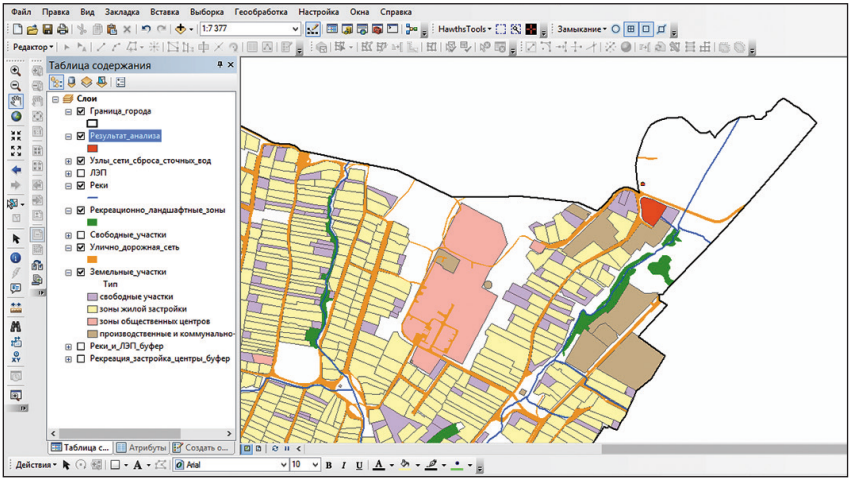


Рис. 2.21

Символизируйте слой «Результат_анализа» по методу *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – красный (красный марс), *Цвет контура* – черный, *Ширина контура* – 1 (рис. 2.20, 2.21).

Контрольные вопросы

1. Приведите основную последовательность шагов в среде ArcGIS по поиску места для строительства станции очистки хозяйственно-бытовых сточных вод.

2. Какие операции элементарного пространственного ГИС-анализа были применены при выполнении лабораторной работы?

3. Перечислите операции расширенного пространственного ГИС-анализа, использовавшиеся при выполнении лабораторной работы.

4. Какие типы операций пространственной статистики применялись в рамках выполнения ГИС-анализа?

Лабораторная работа 3
Сетевой анализ

Цель: освоить алгоритмы сетевого ГИС-анализа.

Исходные данные: БГД «Сетевой анализ», содержащая в себе следующие классы пространственных объектов: «Граница_Минска», «Дороги», «Точки_пересечения_дорог», «Больницы», «Пожарные_части», «Крупные_торговые_центры», «АЗС», «Аптеки», «Кинотеатры», «СТО».

Ход работы

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Сетевой анализ». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Шаг 2. Добавьте в проект классы пространственных объектов из набора классов «Минск» БГД «Сетевой анализ», «Граница_Минска», «Дороги» и «Точки_пересечения_дорог», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 3. Выполните *символизацию* слоя «Граница_Минска». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – нет, *Цвет контура* – красный (красный марс), *Ширина контура* – 1,5.

Шаг 4. Для построения сетевой модели дорог необходимо выполнить ряд подготовительных операций. Первая из них – разбиение слоя линейных векторов дорожной сети (использованы свободно распространяемые данные Open Street Map) на отдельные фрагменты в точках их пересечения друг с другом. Для этого в БГД «Сетевой анализ» предварительно был сформирован слой «Точки_пересечения_дорог». Он был построен с помощью инструмента *Intersect Lines* (*Make Points*) панели ин-

струментов *Hawth's Analysis Tools* (находится в открытом доступе в сети Интернет и устанавливается отдельно от базового комплекта ArcGIS).

Откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Разбить линию в точке* (*Управление данными* → *Пространственные объекты* → *Разбить линию в точке*). В окне инструмента в разделе *Входные объекты* выберите слой «Дороги», в качестве точечных объектов установите слой «Точки_пересечения_дорог». Выходной класс объектов сохраните под именем «Дороги_разбиение» в наборе классов пространственных объектов «Минск» БГД «Сетевой анализ». *Радиус поиска* установите 0,5 м (рис. 3.1). После необходимых расчетов векторный слой результатов анализа будет добавлен в проект.

Шаг 5. В качестве второй подготовительной операции по формированию сетевой модели дорог необходимо установить предельные лимиты скорости передвижения по различным классам дорог. Для этого откройте атрибутивную таблицу слоя «Дороги_разбиение» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите кнопку *Опции таблицы* и выберите *Добавить поле*. В открывшемся окне *Добавить поле* в качестве имени наберите *MAXSPEED*, в качестве типа выберите *Short Integer* (рис. 3.2). После этого нажмите кнопку *OK*.

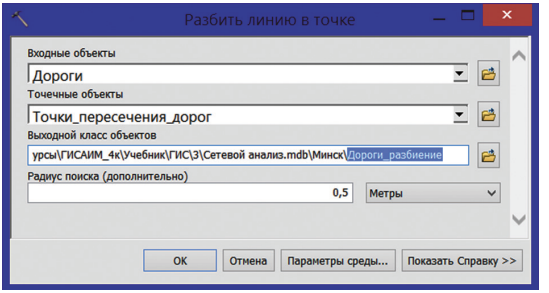


Рис. 3.1

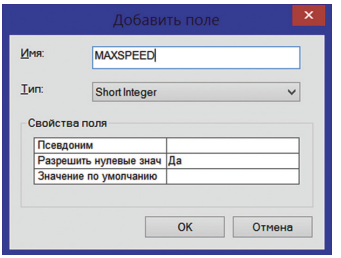
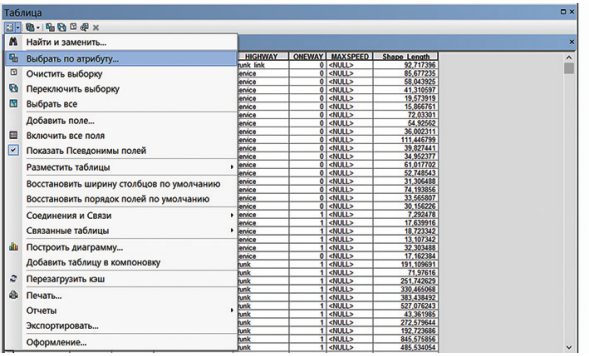
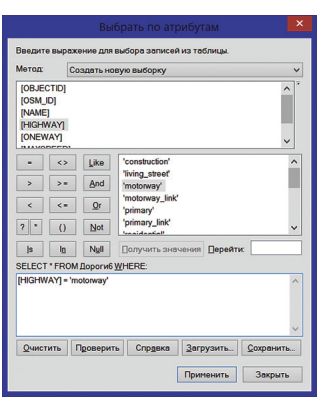


Рис. 3.2

Нажмите кнопку *Опции таблицы* и выберите *Выбрать по атрибуту* (рис. 3.3, *а*). В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* сформируйте SQL-запрос [HIGHWAY] = ‘motorway’. Для этого выполните следующую последовательность: двойной клик мышью по полю атрибутивной таблицы *HIGHWAY*, затем по оператору «=» и значению motorway (используйте кнопку *Получить значения*) (рис. 3.3, *б*). После этого нажмите кнопку *Применить*. В результате SQL-запроса будут выбраны автомагистрали.



а



б

Рис. 3.3

Нажмите кнопку *Показать выбранные записи*, расположенную в нижней части таблицы атрибутов. В таблице будут отображены только автомагистрали.

Сделайте клик правой кнопкой мыши по полю *MAXSPEED* и выберите опцию *Калькулятор поля*. Согласитесь с вычислением вне сеанса редактирования. В окне *Калькулятор поля* наберите лимит скорости передвижения по автомагистралям 120 км/ч (рис. 3.4). После этого нажмите кнопку *OK*.

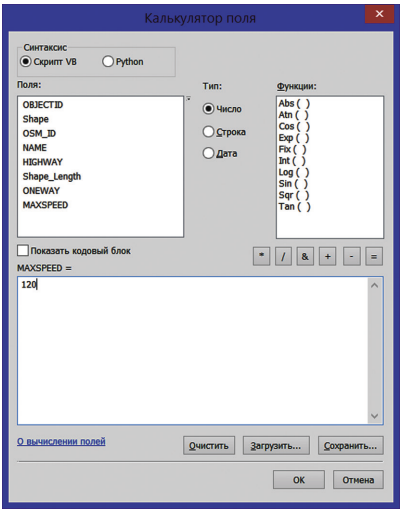


Рис. 3.4

Нажмите в таблице атрибутов кнопку *Показать все записи*, расположенную в нижней части таблицы атрибутов. Также нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите *Очистить выборку*.

Аналогичным образом в таблице атрибутов слоя «Дороги_разбиение» сформируйте SQL-запросы по выборке различных классов дорог, установленных в поле *HIGHWAY*. Путем показа только выбранных записей с помощью опции *Калькулятор поля* задавайте им в поле *MAXSPEED* лимиты скорости передвижения, обозначенные в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Лимиты скорости передвижения по различным классам дорог

Класс дорог	Название в поле *HIGHWAY*	Лимит скорости, км/ч
Автомагистрали	motorway	120
Автомагистральные развязки	motorway_link	60
Дороги республиканского значения	trunk	90

Окончание табл. 3.1

Класс дорог	Название в поле *HIGHWAY*	Лимит скорости, км/ч
Развязки дорог республиканского значения	trunk_link	60
Основные городские улицы и проспекты	primary	80
Развязки основных городских улиц и проспектов	primary_link	60
Второстепенные городские улицы	secondary	60
Развязки второстепенных городских улиц	secondary_link	40
Городские улицы третьего класса	tertiary	40
Развязки городских улиц третьего класса	tertiary_link	20
Городские улицы в жилых микрорайонах	residential	40
Второстепенные городские улицы в жилых микрорайонах	living_street	20
Служебные проезды	service	20
Дороги местного значения	unclassified	20
Строящиеся дороги	construction	15

Шаг 6. В виде третьей подготовительной операции по формированию сетевой модели дорог следует рассчитать время (в мин) проезда по каждому отрезку дорог.

Для этого откройте атрибутивную таблицу слоя «Дороги_разбиение». Нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите *Добавить поле*. В открывшемся окне *Добавить поле* в качестве имени наберите *Meters*, в качестве типа – *Double* (рис. 3.5). После этого нажмите кнопку *OK*.

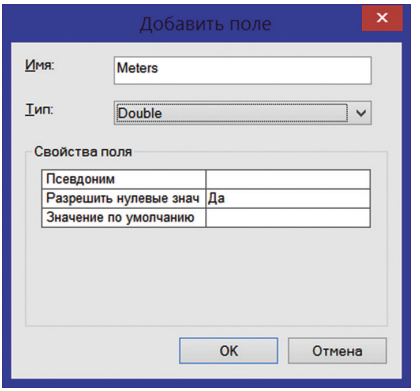


Рис. 3.5

Сделайте клик правой кнопкой мыши по полю *Meters* и выберите опцию *Вычислить геометрию*. Согласитесь с вычислением вне сеанса редактирования. В окне *Вычислить геометрию* наберите параметры, аналогичные представленным на рис. 3.6. После этого нажмите кнопку *OK*.

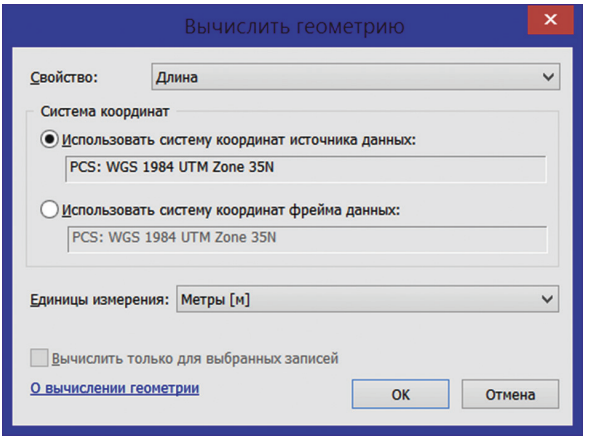


Рис. 3.6

Нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите *Добавить поле*. В открывшемся окне *Добавить поле* в качестве имени наберите *Minutes*, в качестве типа выберите *Double* (рис. 3.7). После этого нажмите кнопку *OK*.

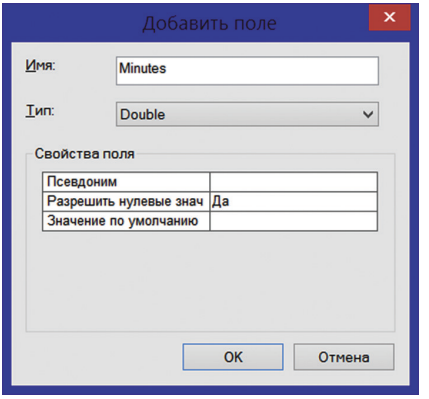


Рис. 3.7

Сделайте клик правой кнопкой мыши по полю *Minutes* и выберите опцию *Калькулятор поля*. Согласитесь с вычислением вне сеанса редактирования. В окне *Калькулятор поля* наберите выражение [Meters] / ([MAXSPEED] / 0.06) (рис. 3.8). После этого нажмите кнопку *OK*. В результате данной операции в поле *Minutes* будет рассчитано время проезда (в мин) по каждому отрезку дорог (рис. 3.9).

Шаг 7. Сохраните проект. Закройте ArcMap.

Откройте ArcCatalog ГИС ArcGIS. Зайдите в меню *Настройка* → *Дополнительные модули* и отметьте галочкой модуль *Network Analyst* для того, чтобы в дальнейшем использовать его.

Найдите набор классов пространственных объектов «Минск» БГД «Сетевой анализ». Для создания нового набора сетевых данных сделайте клик правой клавишей мыши по набору классов «Минск» → *Новый* → *Набор сетевых данных...* (рис. 3.10).

В окне *Новый набор сетевых данных* укажите имя набора сетевых данных – «Минск_Network», а также установите последнюю версию – 10.1. После этого нажмите кнопку *Далее >*.

Выберите в качестве класса пространственных объектов, которые будут входить в набор сетевых данных, класс «Дороги_разбиение». Нажмите *Далее >*.

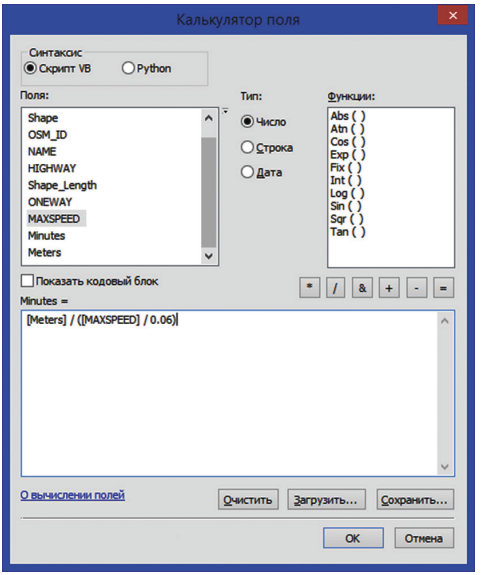


Рис. 3.8

Таблица

Дороги_разбиение

OBJECTID *	Shape *	OSM_ID	NAME	HIGHWAY	ONEWAY	Shape_Length	MAXSPEED	Meters	Minutes
1	Полилиния	129640833		trunk_link	0	92,717396	60	92,717396	0,092717
2	Полилиния	203274126		service	0	85,677235	20	85,677235	0,257032
3	Полилиния	203612479		service	0	58,043925	20	58,043925	0,174132
4	Полилиния	46789186		service	0	41,310597	20	41,310597	0,123932
5	Полилиния	193100561		service	0	19,573919	20	19,573919	0,058722
6	Полилиния	74095538		service	0	15,866761	20	15,866761	0,0476
7	Полилиния	283233507		service	0	72,03301	20	72,03301	0,216099
8	Полилиния	333036912		service	0	54,92562	20	54,92562	0,164777
9	Полилиния	224665592		service	0	36,002311	20	36,002311	0,108007
10	Полилиния	384138402		service	0	111,446799	20	111,44679	0,33434
11	Полилиния	315604635		service	0	39,827441	20	39,827441	0,119482
12	Полилиния	95704207		service	0	34,952377	20	34,952377	0,104857
13	Полилиния	53022537		service	0	61,017702	20	61,017702	0,183053
14	Полилиния	245718367		service	0	52,748543	20	52,748543	0,158246
15	Полилиния	243830277		service	0	31,306488	20	31,306488	0,093919
16	Полилиния	59276102		service	0	74,193856	20	74,193856	0,222582
17	Полилиния	59097514		service	0	33,565807	20	33,565807	0,100697
18	Полилиния	247271120		service	0	30,156226	20	30,156226	0,090469
19	Полилиния	337848029		service	1	7,292478	20	7,292478	0,021877
20	Полилиния	283212974		service	1	17,639916	20	17,639916	0,05292
21	Полилиния	283213152		service	1	18,723342	20	18,723342	0,05617
22	Полилиния	351937384		service	1	13,107342	20	13,107342	0,039322
23	Полилиния	351937373		service	1	32,303488	20	32,303488	0,09691
24	Полилиния	102399703		service	0	17,162384	20	17,162384	0,051487
25	Полилиния	25849174		trunk	1	191,109691	90	191,10969	0,127406
26	Полилиния	25849174		trunk	1	71,97616	90	71,97616	0,047984
27	Полилиния	25849174		trunk	1	251,742629	90	251,74262	0,167828
28	Полилиния	25849174		trunk	1	330,465068	90	330,46506	0,220231
29	Полилиния	25849174		trunk	1	383,438492	90	383,43849	0,255626
30	Полилиния	25849174		trunk	1	527,076243	90	527,07624	0,351384
31	Полилиния	25849174		trunk	1	43,361985	90	43,361985	0,028908
32	Полилиния	25223873		trunk	1	272,579644	90	272,57964	0,18172
33	Полилиния	25223873		trunk	1	192,723686	90	192,72368	0,128482
34	Полилиния	25223873		trunk	1	845,575856	90	845,57585	0,563717
35	Полилиния	25223873		trunk	1	485,534054	90	485,53405	0,323689

0 (0 из *2000 Выбранные)

Дороги_разбиение

Рис. 3.9

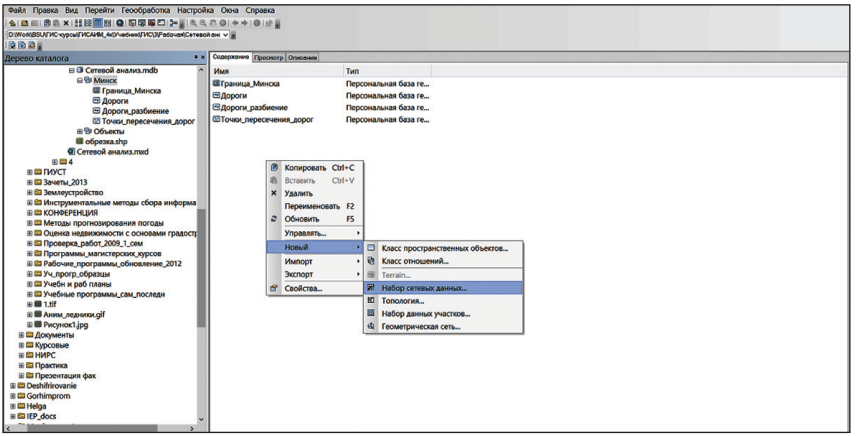


Рис. 3.10

Щелкните *Да* для моделирования поворотов в сети. В качестве источников поворотов по умолчанию будет установлено <*Глобальные повороты*>. Нажмите кнопку *Далее* >.

Настройки связности объектов сети оставьте по умолчанию. Нажмите *Далее >*.

Откажитесь от моделирования высот объектов сети, щелкнув *Нет*. Нажмите кнопку *Далее >*.

Установите атрибуты для набора сетевых данных, аналогичные указанным на рис. 3.11. Нажмите *Далее >*.

Рис. 3.11

На странице с настройками режимов передвижения оставьте все параметры по умолчанию. Нажмите кнопку *Далее >*.

Согласитесь с созданием путевого листа, щелкнув *Да*. Нажмите кнопку *Далее >*.

На последней станице будет отображена для просмотра итоговая информация обо всех настройках. Нажмите кнопку *Готово*. Появится индикатор процесса, позволяющий следить за процессом создания набора сетевых данных в модуле Network Analyst.

После создания сети система выдаст запрос на ее построение. Щелкните *Да*. Появится индикатор процесса построения набора сетевых данных. По окончании процесса построения он исчезнет.

Новый набор сетевых данных «Минск_Network» будет добавлен в набор классов «Минск» БГД «Сетевой анализ» вместе с классом объектов системных узлов «Минск_Network_Junctions» (рис. 3.12).

Шаг 8. Закройте ArcCatalog.

Откройте ArcMap ГИС ArcGIS, проект «Сетевой анализ». Удалите из проекта все слои, кроме слоя «Граница_Минска».

Зайдите в меню *Настройка* → *Дополнительные модули* и отметьте галочкой модуль Network Analyst.

Зайдите в меню *Настройка* → *Панели инструментов* и выберите Network Analyst. Будет добавлена панель следующего вида (рис. 3.13).

На панели инструментов *Network Analyst* щелкните на кнопке *Окно Network Analyst* . Откроется прикрепляемое окно *Network Analyst*.

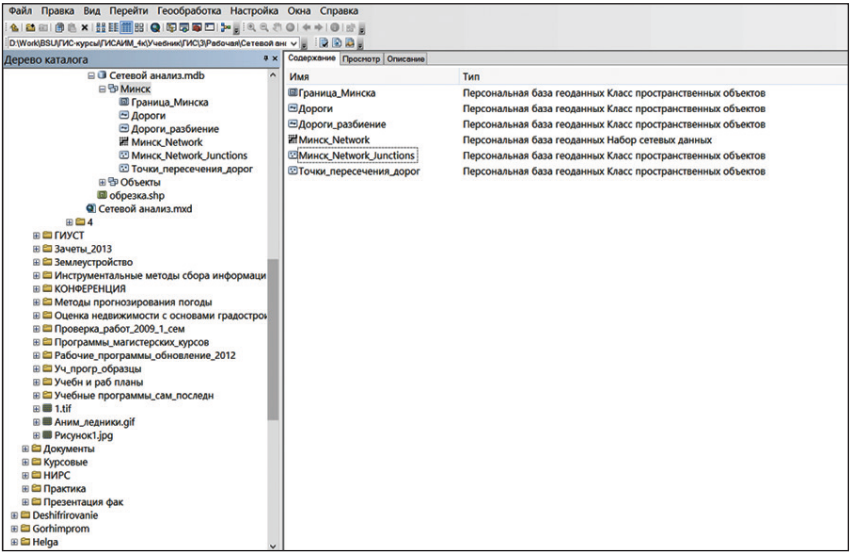


Рис. 3.12

Рис. 3.13

Добавьте в проект набор сетевых данных «Минск_Network» из набора классов «Минск» БГД «Сетевой анализ», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*. Согласитесь добавить в проект все классы объектов, участвующих в сети. В проект будут добавлены три слоя («Минск_Network», «Минск_Network_Junctions», «Дороги_разбиение»).

Отключите отображение слоев «Минск_Network» и «Минск_Network_Junctions», спрячьте их легенды в таблице содержания.

Символизируйте слой «Дороги_разбиение». Кликните по нему правой клавишей мыши и откройте *Свойства слоя*. Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты → Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *цвет* – коричневый (вишневое дерево), *ширина* – 0,5 (рис. 3.14).

Шаг 9. Выполните поиск оптимального маршрута с использованием набора сетевых данных. Для этого выберите пункт *Новый маршрут* на панели инструментов *Network Analyst*.

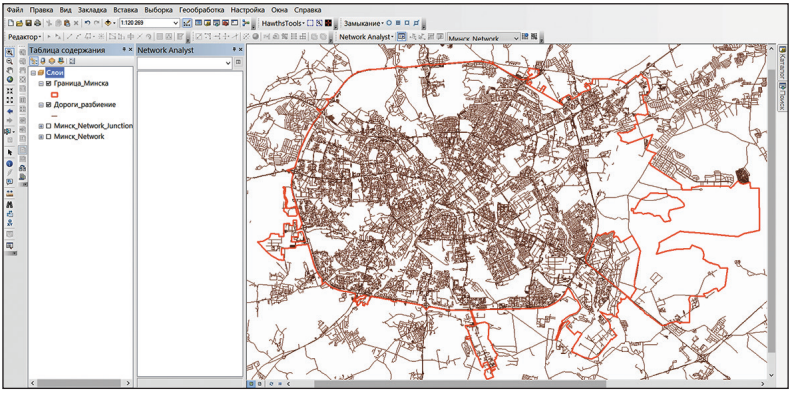
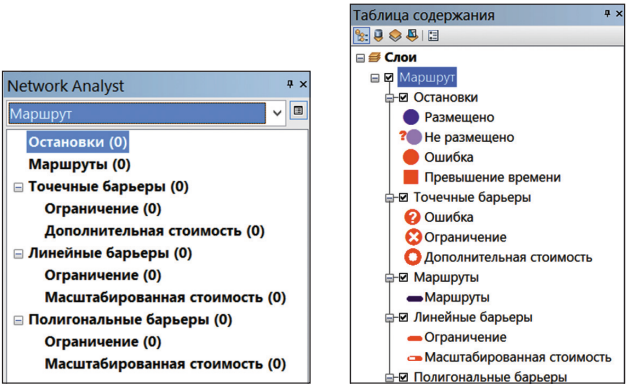


Рис. 3.14

Слой анализа маршрута будет добавлен в окно *Network Analyst* (классы сетевого анализа: «Остановки», «Маршруты», «Точечные барьеры», «Линейные барьеры» и «Полигональные барьеры»), рис. 3.15, *а*. Также в окно *Таблица содержания* будет добавлен новый слой анализа «Маршрут» (рис. 3.15, *б*).

Добавьте остановки маршрута. Увеличьте экстент карты в любой части города. В окне *Network Analyst* щелкните по пункту «Остановки (0)». На панели инструментов *Network Analyst* выберите инструмент *Создать сетевое положение* .

Щелкните в любом месте уличной сети, чтобы определить новое положение остановки. Добавьте еще две остановки в любых местах на соседних улицах.



а *б*

Рис. 3.15

Новым остановкам в пункте «Остановки» окна *Network Analyst* присваиваются номера 1, 2 и 3 (рис. 3.16). Первая остановка рассматривается как точка начала, а последняя – назначения.

При необходимости остановку можно удалить, сделав клик правой клавишей мыши по ее наименованию в пункте «Остановки» окна *Network Analyst* и выбрав *Удалить*. Переместить остановку возможно с помощью инструмента *Выбрать/Переместить сетевые положения* на панели инструментов *Network Analyst*.

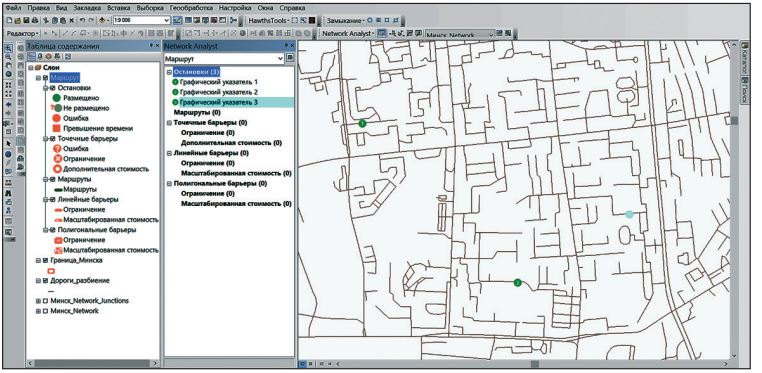


Рис. 3.16

Выполните установку параметров анализа. Для этого нажмите кнопку *Свойства слоя анализа* в окне *Network Analyst*.

В открывшемся диалоговом окне *Свойства слоя* перейдите на закладку *Настройки анализа*. Установите параметры, аналогичные указанным на рис. 3.17. Нажмите *OK*.

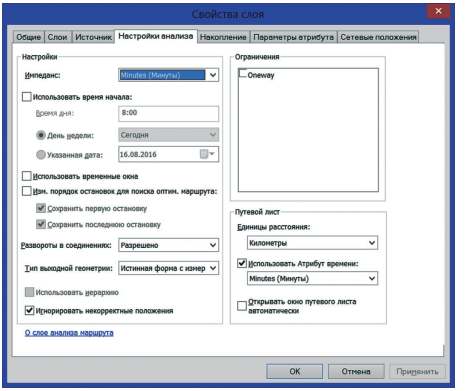


Рис. 3.17

Выполните расчет оптимального маршрута по созданным остановкам. Для этого щелкните по кнопке *Расчет* на панели инструментов *Network Analyst*. Объект маршрутов появляется в документе карты и в окне *Network Analyst* в классе «Маршруты» (рис. 3.18).

Если появляется предупреждающее сообщение, попробуйте переместить одну или несколько остановок при помощи инструмента *Выбрать/Переместить сетевые положения*.

Щелкните по кнопке *Путевой лист* на панели инструментов *Network Analyst*. Откроется окно *Путевой лист* (рис. 3.19).

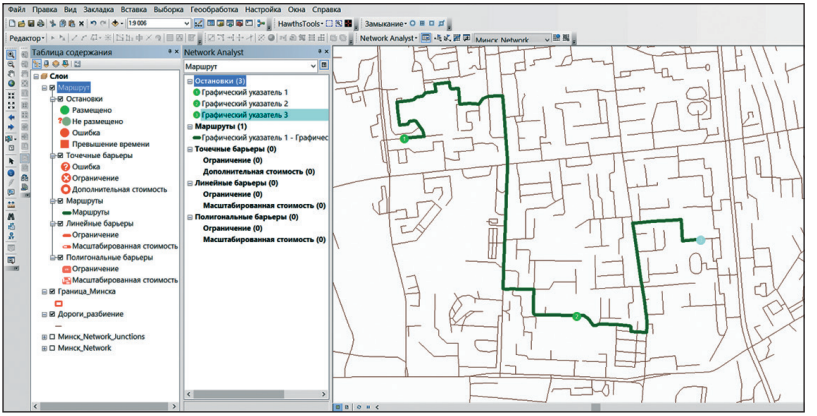


Рис. 3.18

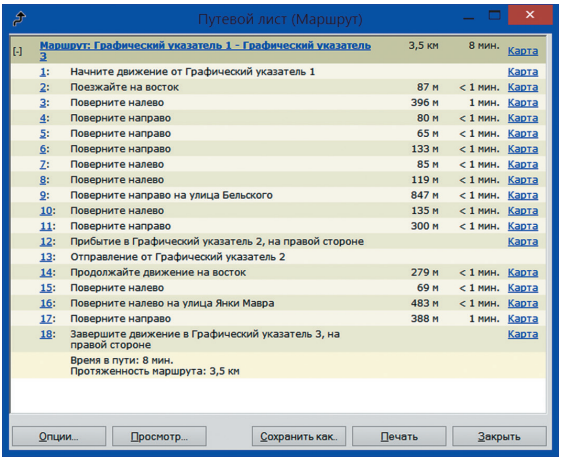


Рис. 3.19

В крайнем правом столбце диалогового окна *Путевой лист* щелкните по одной из ссылок с названием *Карта*. В итоге будет отображена карта-врезка маневра.

Используя набор сетевых данных г. Минска, самостоятельно создайте серию остановок в разных частях города и проложите по ним оптимальный маршрут.

Шаг 10. Выполните поиск ближайшей больницы с использованием набора сетевых данных. Для этого выберите пункт «Новый ближайший пункт обслуживания» на панели инструментов *Network Analyst*.

Слой анализа ближайшего пункта обслуживания будет добавлен в окно *Network Analyst* (классы сетевого анализа: «Пункты обслуживания», «Инциденты», «Маршруты», «Точечные барьеры», «Линейные барьеры» и «Полигональные барьеры»). Также в окно *Таблица содержания* будет добавлен новый слой анализа «Ближайший пункт обслуживания».

Добавьте в проект класс пространственных объектов «Больницы» из набора классов «Объекты» БГД «Сетевой анализ», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

В окне *Network Analyst* щелкните правой кнопкой мыши по записи «Пункты обслуживания (0)» и выберите *Загрузить положения*. В окне *Загрузить положения* выберите «Больницы» в раскрывающемся списке *Загрузить из* (рис. 3.20). Остальные параметры оставьте по умолчанию, нажмите *OK*. Все больницы будут отображены на карте как пункты обслуживания и приведены в списке в окне *Network Analyst*.

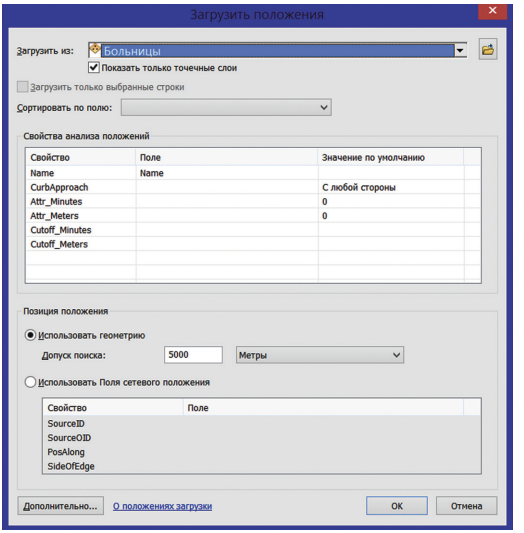


Рис. 3.20

Увеличьте экстент карты в любой части города Минска. В окне *Network Analyst* щелкните по пункту «Инциденты (0)». На панели инструментов *Network Analyst* выберите инструмент *Создать сетевое положение* . Щелкните в любом месте уличной сети, чтобы определить местоположение возможной автомобильной аварии (рис. 3.21).

Выполните установку параметров анализа. Для этого нажмите кнопку *Свойства слоя анализа* в окне *Network Analyst*. В открывшемся диалоговом окне *Свойства слоя* перейдите на закладку *Настройки анализа*. Установите параметры, аналогичные указанным на рис. 3.22. Нажмите *OK*.

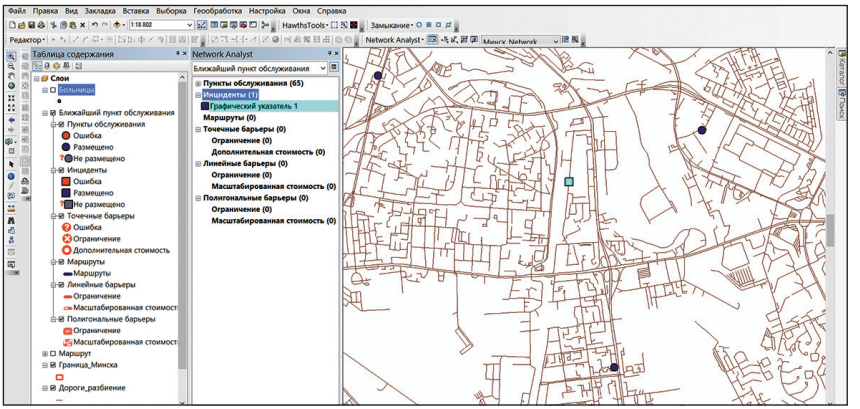


Рис. 3.21

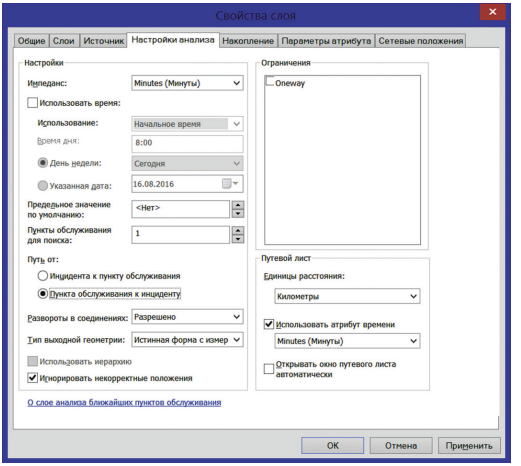


Рис. 3.22

Выполните расчет маршрута от ближайшей больницы к месту возможной автомобильной аварии. Для этого щелкните по кнопке *Расчет* на панели инструментов *Network Analyst*. Маршрут появляется в документе карты и в окне *Network Analyst* класса «Маршруты».

Щелкните по кнопке *Путевой лист* на панели инструментов *Network Analyst*. Откроется окно *Путевой лист* (рис. 3.23).

Добавьте в проект класс пространственных объектов «Пожарные_части» из набора классов «Объекты» БГД «Сетевой анализ».

Используя набор сетевых данных г. Минска, самостоятельно выполните поиск ближайшей пожарной части от выбранного вами потенциального места возгорания.

Шаг 11. Выполните создание зон транспортной доступности (обслуживания) с использованием набора сетевых данных. Для этого выберите пункт «Новая область обслуживания» на панели инструментов *Network Analyst*.

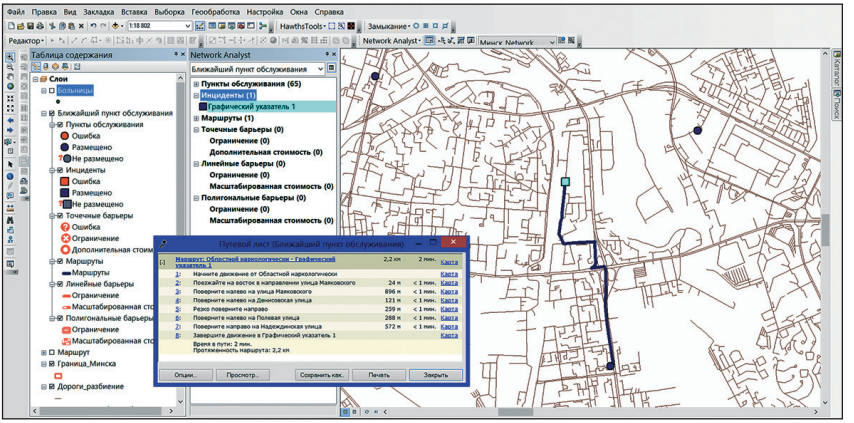


Рис. 3.23

Слой анализа области обслуживания будет добавлен в окно *Network Analyst* (классы сетевого анализа: «Пункты обслуживания», «Полигоны», «Линии», «Точечные барьеры», «Линейные барьеры» и «Полигональные барьеры»). Также в окно *Таблица содержания* будет добавлен новый слой анализа «Область обслуживания».

Добавьте в проект класс пространственных объектов «Крупные_торговые_центры» из набора классов «Объекты» БГД «Сетевой анализ».

В окне *Network Analyst* щелкните правой кнопкой мыши по записи «Пункты обслуживания (0)» и выберите *Загрузить положения*. В окне *Загрузить положения* выберите «Крупные_торговые_центры» в рас-

крывающемся списке *Загрузить из*. Все крупные торговые центры будут отображены на карте как пункты обслуживания и приведены в списке в окне *Network Analyst*.

Выполните установку параметров анализа. Для этого нажмите кнопку *Свойства слоя анализа* в окне *Network Analyst*. В открывшемся диалоговом окне *Свойства слоя* перейдите на закладку *Настройки анализа*. Установите параметры, аналогичные указанным на рис. 3.24. В закладке *Создание полигонов* определите параметры как на рис. 3.25.

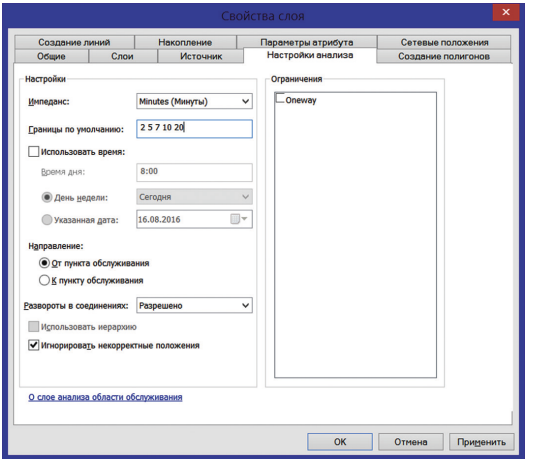


Рис. 3.24

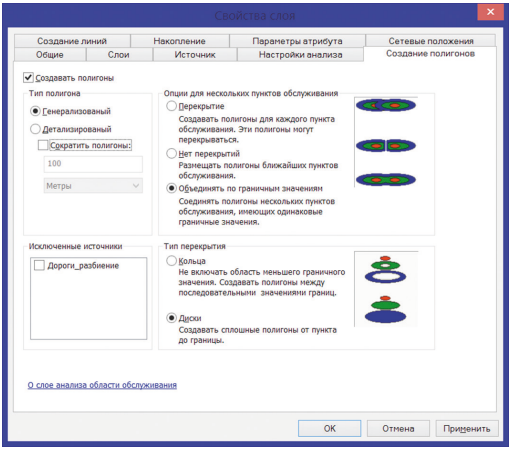


Рис. 3.25

Выполните расчет зон транспортной доступности (обслуживания) крупных торговых центров. Для этого щелкните по кнопке *Расчет* на панели инструментов *Network Analyst*. Полигоны зон транспортной доступности (обслуживания) появляются в документе карты и окне *Network Analyst* в классе «Полигоны» (рис. 3.26).

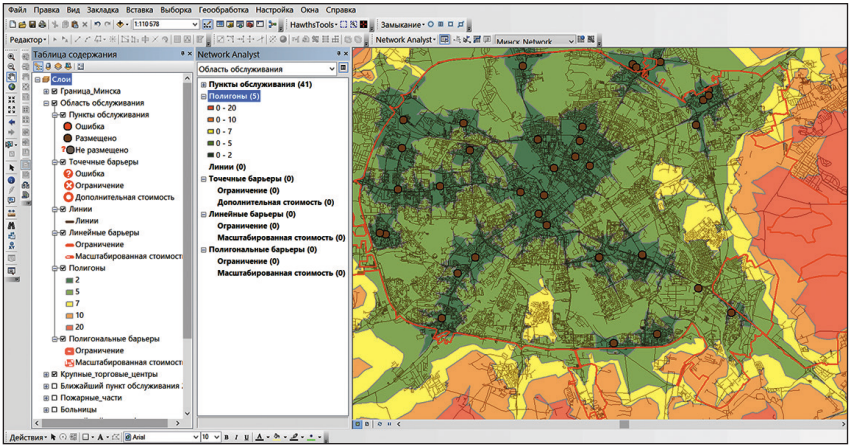


Рис. 3.26

Добавьте в проект классы пространственных объектов «АЗС», «Аптеки», «Кинотеатры» и «СТО» из набора классов «Объекты» БГД «Сетевой анализ».

Используя набор сетевых данных г. Минска, самостоятельно выполните расчет зон транспортной доступности (обслуживания) АЗС, аптек, кинотеатров и СТО.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные аналитические операции сетевого анализа.
2. Обозначьте последовательность действий по подготовке данных дорожной сети для включения их в набор сетевых данных.
3. Перечислите основные шаги по созданию набора сетевых данных в БГД ГИС.
4. Раскройте алгоритм создания зон транспортной доступности (обслуживания) в среде ГИС.

Лабораторная работа 4
Геокодирование

Цель: освоить алгоритмы геокодирования в среде ГИС.

Исходные данные: стиль локатора адресов RUS.lot.xml, БГД «Геокодирование», содержащая в себе таблицу «Клиенты» и следующие классы пространственных объектов: «Граница_города», «Улицы», «Строения», «Строения_точки».

Ход работы

Шаг 1. Скопируйте в раздел C:\Program Files (x86)\ArcGIS\Desktop \ Locators стиль локатора адресов RUS.lot.xml, содержащийся в папке исходных данных.

Шаг 2. Откройте ArcCatalog ГИС ArcGIS. Найдите БГД «Геокодирование». Для создания нового локатора адресов сделайте клик правой клавишей мыши по БГД «Геокодирование» → *Новый* → *Локатор адресов...* (рис. 4.1).

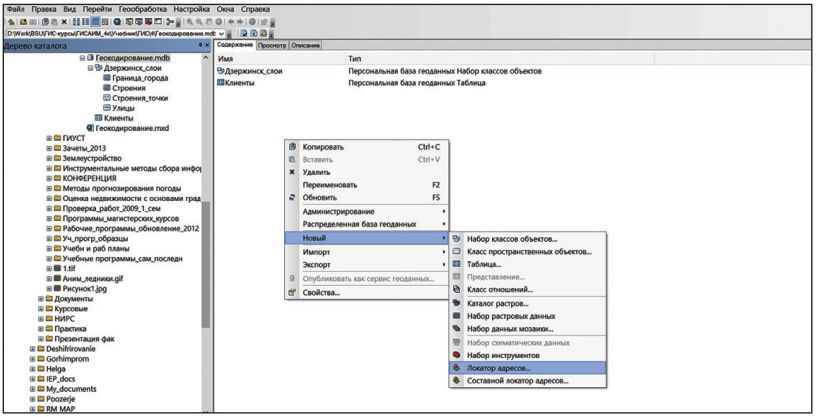


Рис. 4.1

В окне *Создать локатор адресов* из стилей локаторов адресов выберите RUS - PointAddresesExtendedLocal. В качестве базовых данных установите класс пространственных объектов «Строения_точки», расположенный в наборе классов «Дзержинск_слои» БГД «Геокодирование». В разделе «Список полей» установите параметры, аналогичные указанным на рис. 4.2. Выходной локатор адресов сохраните в БГД «Геокодирование» под именем «Локатор_адресов_Дзержинск». Нажмите *OK*. После необходимых расчетов программа создаст локатор адресов.

Закройте ArcCatalog.

Шаг 3. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Геокодирование». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

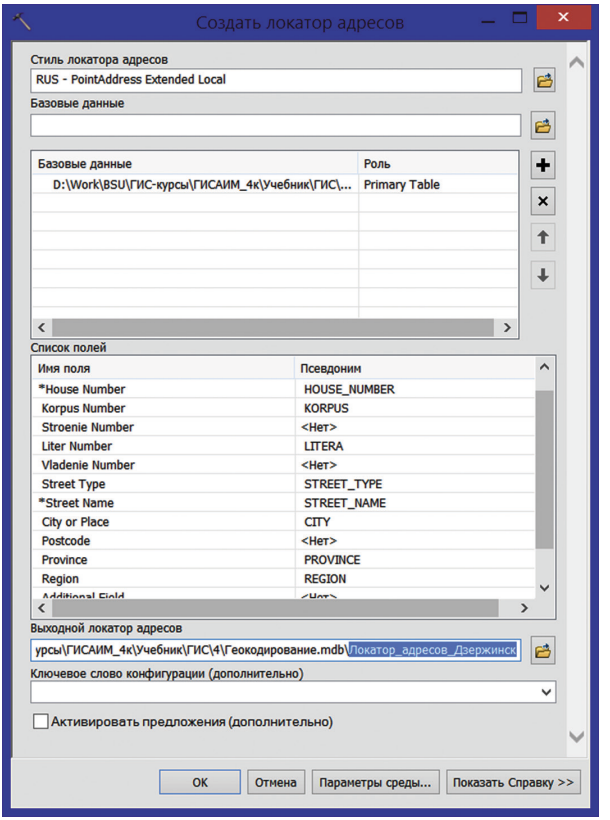


Рис. 4.2

Добавьте в проект все классы пространственных объектов набора классов «Дзержинск_слои» БГД «Геокодирование» («Граница_города», «Улицы», «Строения», «Строения_точки»), воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 4. Выполните символизацию слоя «Граница_города». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – желтый (юкка), *Цвет контура* – красный (красный марс), *Ширина контура* – 1,5.

Методом отображения объектов «Единый символ» символизируйте слои «Строения», «Улицы», «Строения_точки». Слой «Строения» покажите следующим образом: *Цвет заливки* – фиолетовый (аметист), *Ширина контура* – 0,5, *Цвет контура* – фиолетовый (аметист). Слой «Улицы» символизируйте линией оранжевого цвета (севильский оранжевый), *Ширина* – 1,5. Для слоя «Строения_точки» выберите шаблон *Круг 1*, откорректируйте параметры: *Цвет* – черный, *Размер* – 2, *Угол* – 0.

Шаг 5. Подпишите объекты слоя «Улицы» по полю *Name_of_ul*. Зайдите в *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). В закладке *Надписи* отметьте галочкой функцию *Надписать объекты этого слоя*, выберите полем надписи Name_of_ul и символизируйте надписи удобным для вас шрифтом и его размером (рис. 4.3).

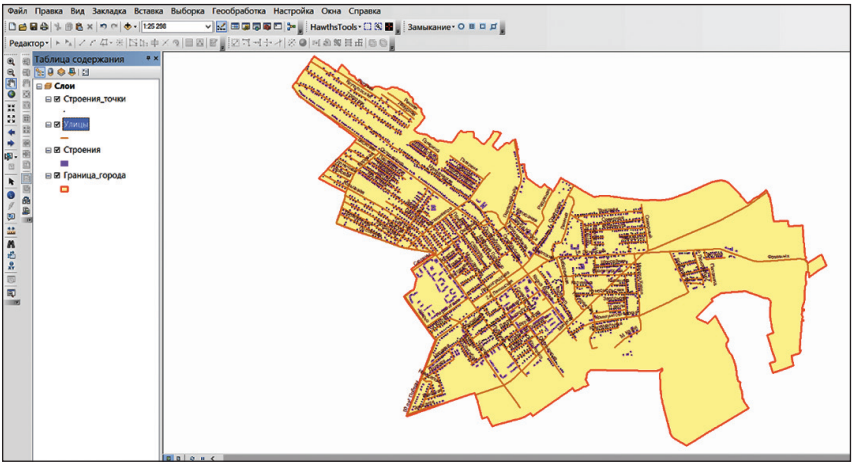


Рис. 4.3

Шаг 6. Зайдите в меню *Настройка* → *Панели инструментов* и выберите *Геокодирование*. Будет добавлена панель следующего вида (рис. 4.4).

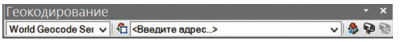


Рис. 4.4

В раскрывающемся списке *Управление локаторами адресов* на левой стороне панели инструментов *Геокодирование* выберите <*Управление локаторами адресов*>. В появившемся диалоговом окне *Менеджер локаторов адресов* нажмите кнопку *Добавить* и выберите локатор адресов «Локатор_адресов_Дзержинск» из БГД «Геокодирование».

Щелкните по текстовому полю <*Введите адрес...*> на панели инструментов *Геокодирование* и введите «ул. Протасова 17 2», а затем нажмите на клавиатуре клавишу *Ввод*.

Щелкните правой кнопкой мыши по адресу на панели инструментов *Геокодирование* и выберите *Добавить надписанную точку*, чтобы добавить графическую точку с надписью на карту (рис. 4.5).

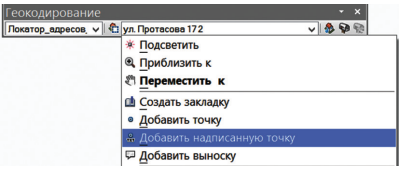


Рис. 4.5

Аналогичным образом найдите и добавьте на карту в виде графических точек следующие адреса в г. Дзержинске: ул. Гагарина 51; ул. Парковая 9; ул. Карла Маркса 12 а; ул. 1-я Ленинская 29; ул. Р. Люксембург 4 а (рис. 4.6).

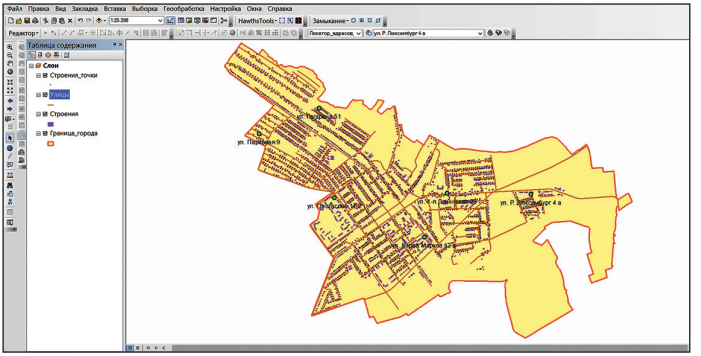


Рис. 4.6

Шаг 7. Найдите адрес в диалоговом окне *Найти*. Для этого выберите инструмент *Найти* на панели *Инструменты*.

В появившемся диалоговом окне *Найти* перейдите на закладку *Местоположения*. В раскрывающемся списке *Выберите локатор* выберите «Локатор_адресов_Дзержинск».

Введите «ул. Якуба Коласа 2 а» в текстовом поле *Полный адрес* и нажмите на клавиатуре кнопку *Ввод* либо нажмите кнопку *Найти*, чтобы начать поиск кандидатов.

Найденные кандидаты, ранжированные по набранным очкам, будут показаны в нижней части диалогового окна. Можно увидеть больше кандидатов, если включить опцию *Показать всех кандидатов*.

Щелкните правой кнопкой мыши, указав второго кандидата, и выберите *Добавить подписанную точку* в контекстном меню (рис. 4.7).

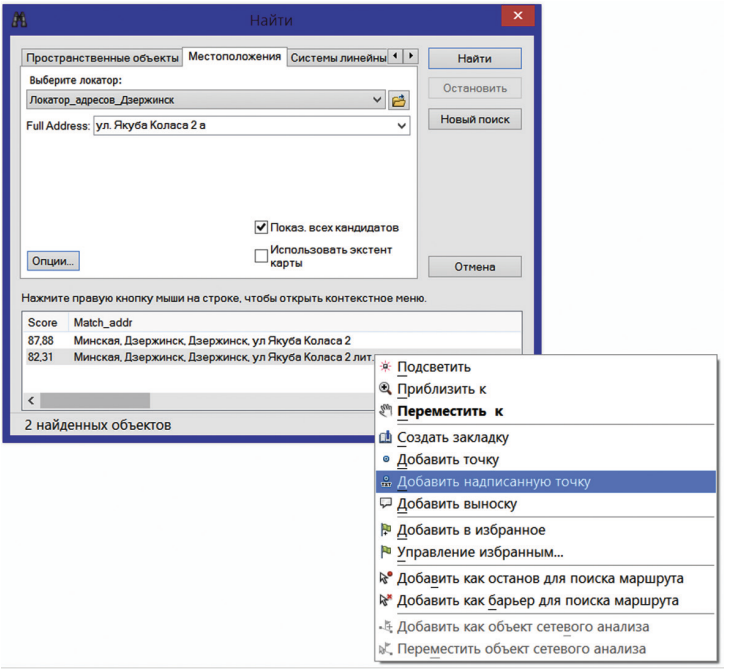


Рис. 4.7

Аналогичным образом найдите и добавьте на карту в виде графических точек следующие адреса в г. Дзержинске: ул. Вишневая, 10; ул. Танковая, 1а; ул. Протасова, 13/4; ул. Протасова, 7/2; пер. Ленина, 6а (рис. 4.8).

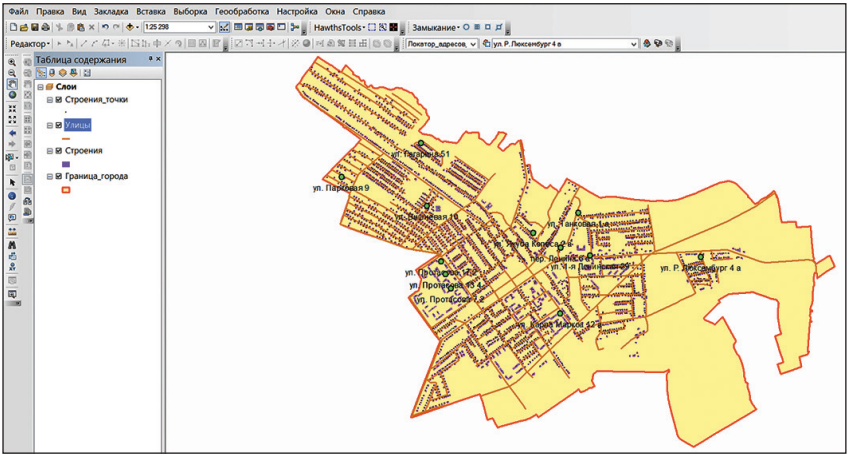


Рис. 4.8

После выполнения поиска адресов выделите с помощью инструмента *Выбрать элементы* все графические точки и подписи на карте, расположенной на панели *Инструменты*, и удалите их, нажав клавишу *Delete* на клавиатуре.

Шаг 8. Выполните геокодирование адресов в таблице. Для этого добавьте в проект таблицу «Клиенты» БГД «Геокодирование», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*. Откройте ее, сделав клик правой кнопкой мыши по таблице и выбрав *Открыть* (рис. 4.9).

Таблица

Клиенты

OBJECTID *	REGION	PROVINCE	CITY	NAME_CL	ADDRESS	SALES
1	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Мебель	ул. Макавчицкая 61	85
2	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Продукты	ул. Островского 98	63
3	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Гостиница	ул. Красноармейская 1 а	140
4	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Радуга	ул. Протасова 1	83
5	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Престиж	ул. Протасова 17	76
6	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Парикмахерская	ул. Протасова 15	43
7	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Славянка	ул. Советская 5	55
8	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Продукты	ул. Октябрьская 34	87
9	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Автозапчасти	ул. Советская 7	75
10	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Автозапчасти	ул. Радужная 1	84
11	Минская	Дзержинск	Дзержинск	АО "Дзержинск-LADA"	ул. Радужная 1	98
13	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Сложнобытовая техника	ул. Островского 2	58
14	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Мебель, хозтовары	ул. Островского 2	92
15	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Магазин	ул. 1-я Ленинская 39	51
16	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Орхидея - магазин подарков	ул. Карла Маркса 12 а	22
17	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Агромип	ул. Фоминых 44	86
18	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Магазин № 12	ул. Минская 3	77
20	Минская	Дзержинск	Дзержинск	Белорусские краски	ул. Пролетарская 32	59

1 (0 из 18 Выбранные)

Клиенты

Рис. 4.9

Геокодирование будет проводиться по полю *ADDRESS*. В поле *SALES* отмечен месячный объем потребления электроэнергии в денежном эквиваленте. После ознакомления с таблицей закройте ее.

Выполните клик правой кнопкой мыши по таблице «Клиенты» и выберите опцию *Геокодировать адреса*. В диалоговом окне *Выбрать локатор адресов* щелкните по локатору адресов «Локатор_адресов_Дзержинск».

В появившемся окне *Геокодирование адресов: Локатор_адресов_Дзержинск* в разделе *Входные поля адреса* выберите «Несколько полей». Установите входные поля, аналогичные указанным на рис. 4.10. Результат сохраните как статичную копию таблицы в наборе классов «Дзержинск_слои» БГД «Геокодирование» под именем «Клиенты_геокодирование».

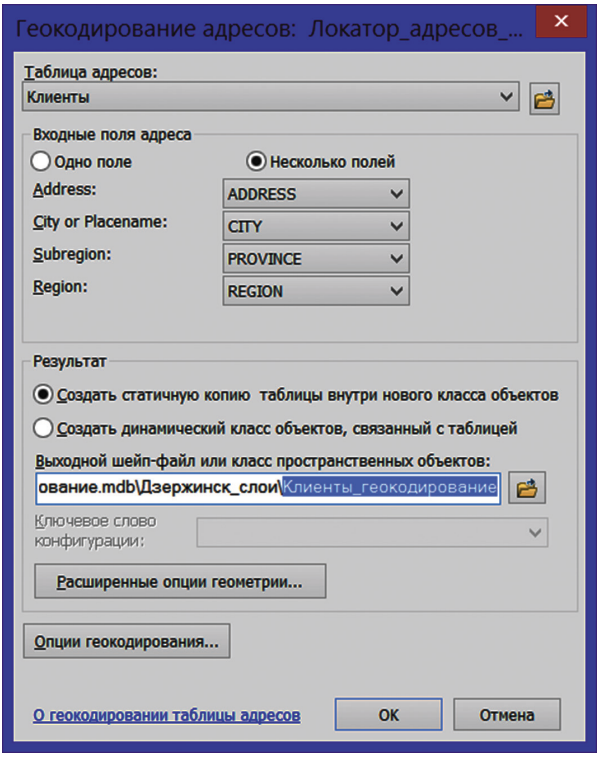


Рис. 4.10

По окончании процесса геокодирования в диалоговом окне *Геокодирование адресов* будет показана окончательная статистика по сопоставленным и несопоставленным адресам (рис. 4.11). Нажмите *Закрыть*.

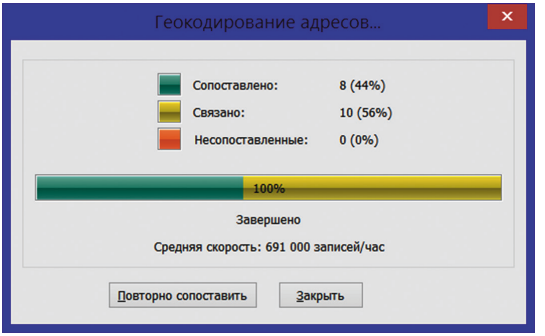


Рис. 4.11

В результате геокодирования на карту будет добавлен слой «Результат геокодирования». Этот слой отображает точки, добавленные в класс пространственных объектов «Клиенты_геокодирование».

Подпишите слой результатов геокодирования по полю *SALES* и символизируйте их в виде столбчатых диаграмм, используя это же поле (рис. 4.12).

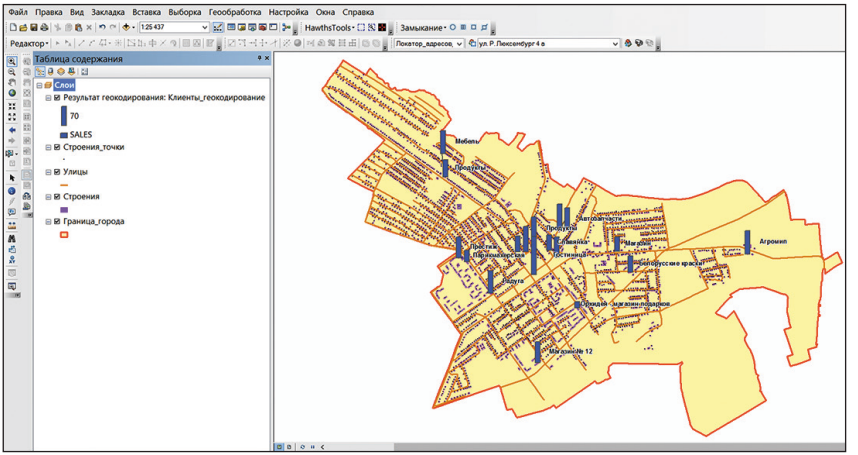


Рис. 4.12

Контрольные вопросы

1. Что из себя представляет локатор адресов?
2. Какие способы поиска адресов имеются в ГИС ArcGIS?
3. Каким образом реализуется геокодирование адресов по таблице?

Лабораторная работа 5
Создание карт-анаморфоз

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

Исходные данные: программа-установщик набора инструментов Cartograms.exe, БГД «Анаморфозы», содержащая в себе следующие наборы классов пространственных объектов: «Страны_мира» (классы «Крупные_города», «Страны», «Градусная_сетка», растр «NASA_базовая_карта»), Беларусь (класс «АТЕ»).

Ход работы

Шаг 1. Установите набор инструментов для построения карт-анаморфоз Cartograms.exe (программа-установщик находится в папке исходных данных).

Шаг 2. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Карты-анаморфозы». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Шаг 3. Откройте окно *ArcToolbox*. Сделайте клик правой кнопкой мыши по группе наборов инструментов ArcToolbox и выберите *Добавить набор инструментов*. Найдите папку, в которую был установлен набор Cartograms (по умолчанию D:\ArcScripts\Cartograms), и выберите в ней Cartogram.tbx. Нажмите *OK*. После этого новый набор инструментов будет добавлен в окно *ArcToolbox*.

Шаг 4. Добавьте в проект все классы пространственных объектов набора классов «Страны_мира» БГД «Анаморфозы» («Крупные_города», «Страны», «Градусная_сетка»), а также растр «NASA_базовая_карта» БГД «Анаморфозы», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 5. Выполните символизацию слоя «Страны». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свой-*

ства). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – желтый (юкка), *Цвет контура* – черный, *Ширина контура* – 0,5.

Методом отображения объектов *Единый символ* символизируйте слои «Крупные_города» и «Градусная_сетка». Для слоя «Крупные_города» выберите шаблон «Круг 1», откорректируйте параметры: *Цвет* – красный (красный марс), *Размер* – 5, *Угол* – 0. Слой «Градусная_сетка» покажите следующим образом: *Цвет заливки* – нет, *Ширина контура* – 0,5, *Цвет контура* – фиолетовый (аметист) (рис. 5.1).

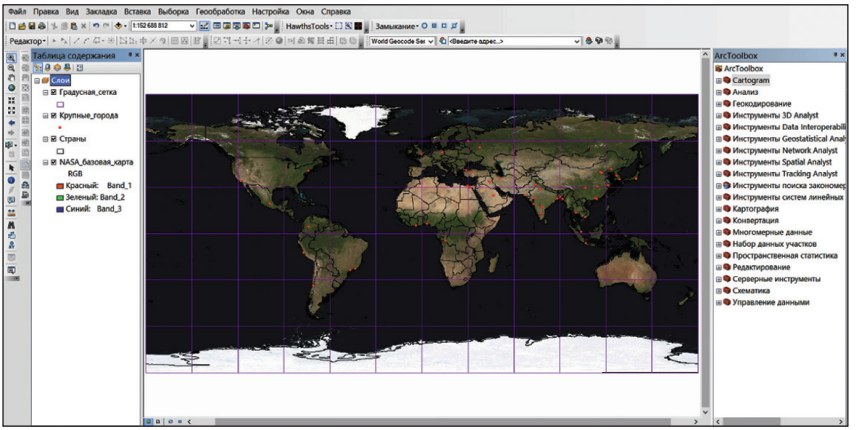


Рис. 5.1

Шаг 6. Откройте *атрибутивную таблицу* слоя «Страны» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Открыть таблицу атрибутов*). Нажмите на кнопку *Опции таблицы* и выберите инструмент *Выбрать по атрибуту*. В открывшемся окне *Выбрать по атрибутам* сформируйте SQL-запрос POP2015 >= 0. После этого нажмите кнопку *Применить* (рис. 5.2). Закройте атрибутивную таблицу.

Шаг 7. Создайте карту-анаморфозу по параметру численности населения стран мира в 2015 г. Для этого в окне *ArcToolbox* откройте инструмент *Make a cartogram Gastner-Newman method* (*Cartograms* → *Make a cartogram Gastner-Newman method*). В окне *Создание карты-анаморфозы* (*Create a cartogram*) в качестве входного полигонального слоя (*Original Polygon Features*) выберите слой «Страны». В качестве поля атрибутив-

ной таблицы (*Value Field of the Original Features*) установите POP2015. Выходной слой сохраните в наборе классов «Страны_мира» БГД «Анаморфозы» под именем POP2015. Определите *Фактор сглаживания* (*Factor to smooth original density*) – 1, *Количество ячеек по ширине/высоте при анализе* (*Number of cells in width/height of the Analysis Mesh*) – 512 (рис. 5.3). Нажмите *OK*. После необходимых расчетов векторный слой-анаморфоза будет добавлен во фрейм данных.

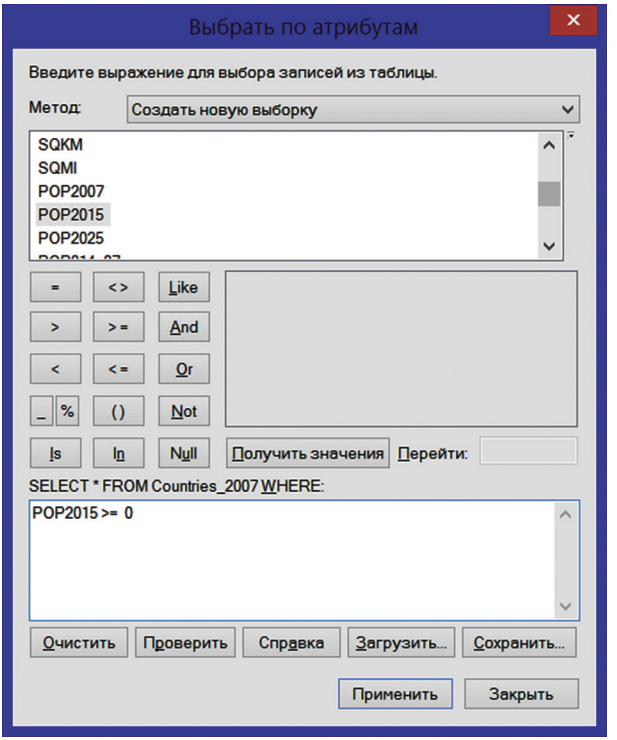


Рис. 5.2

Отобразите слой POP2015, классифицируя его по численности населения. Во вкладке *Символы* окна *Свойства слоя* выберите *Показать* → *Количество* → *Градуированные цвета*. Щелкните по стрелке вниз в строке *Значение* и выберите поле *POP2015*. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В окне *Классификация* задайте параметры: *Число классов* – 6, *Метод* – вручную. В правом окне *Граничные значения* показаны верхние границы пяти интервалов. Исправьте значения на 10 000 000, 25 000 000,

100 000 000, 500 000 000, 1 000 000 000, 1 393 417 233. Выберите для слоя цветовую схему, сочетающую в себе оттенки зеленого, желтого, оранжевого и красного (рис. 5.4).

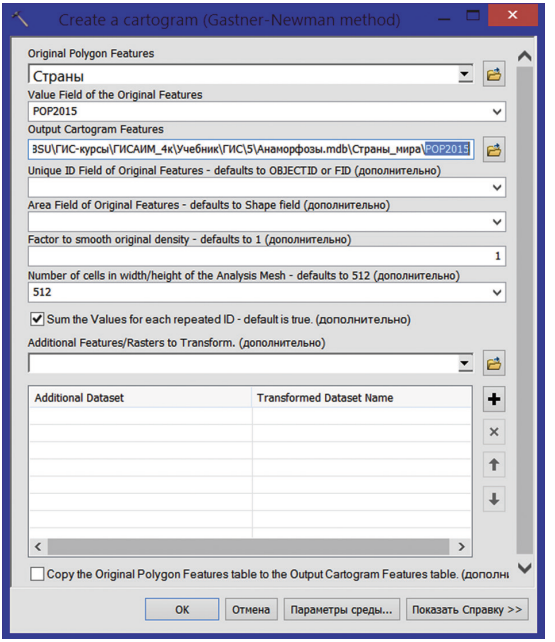


Рис. 5.3

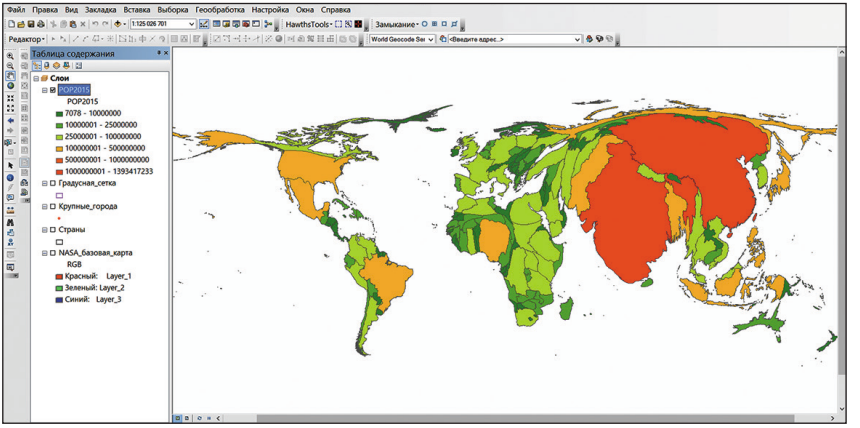


Рис. 5.4

Шаг 8. По аналогии с предыдущими шагами выберите из атрибутивной таблицы слоя «Страны» записи большие либо равные нулю в поле POP2015. Создайте карту-анаморфозу по параметру прогнозной численности населения стран мира в 2025 г. В окне *Создание карты-анаморфозы* (*Create a cartogram*) установите параметры, аналогичные указанным на рис. 5.5. Добавление в анализ слоев «Градусная_сетка», «Крупные_города» и «NASA_базовая_карта» приведет к их трансформации.

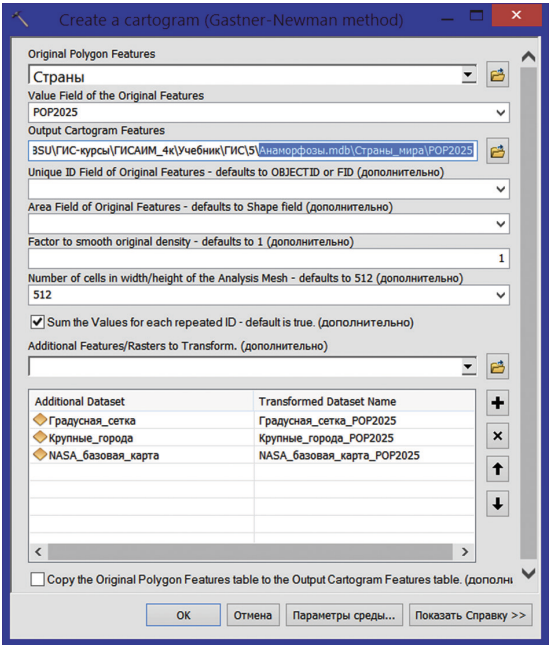


Рис. 5.5

После необходимых расчетов векторный слой-анаморфоза (POP2025) будет добавлен во фрейм данных. Добавьте также во фрейм данных и трансформированные слои «Градусная_сетка_POP2025», «Крупные_города_POP2025» и «NASA_базовая_карта_POP2025» из БГД «Анаморфозы». Символизируйте слои аналогично ***шагу 5*** данного задания (рис. 5.6).

Шаг 9. Самостоятельно создайте карты-анаморфозы по следующим атрибутивным полям слоя «Страны»: GDP_USD (ВВП, доллары США), HIVAIDSTOT (количество ВИЧ-инфицированных, чел.), TOTCO2_2004 (количество выбросов углекислого газа в атмосферу, млн т). Вместе со

слоем «Страны» трансформируйте слои «Градусная_сетка» и «Крупные_города». Выполняйте символизацию трансформированных слоев по методу *Градуированные цвета*.

Сохраните проект.

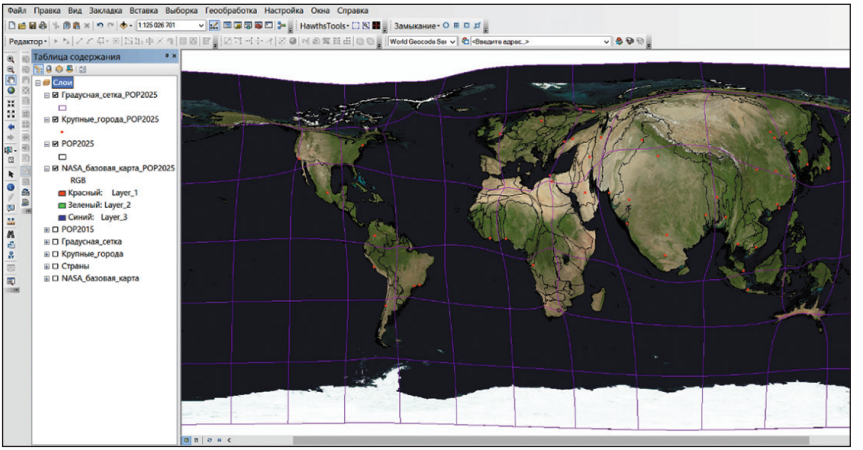


Рис. 5.6

Шаг 10. Создайте новый проект, выбрав *Файл* → *Новый*. Сохраните его под именем «Карты-анаморфозы Беларусь». Добавьте в окно *ArcToolbox* набор инструментов Cartograms.

Загрузите в проект класс пространственных объектов АТЕ из набора классов «Беларусь» БГД «Анаморфозы». Создайте карту-анаморфозу по параметру численности населения АТЕ Республики Беларусь в 2014 г. В окне *Создание карты-анаморфозы* (*Create a cartogram*) установите параметры, аналогичные указанным на рис. 5.7.

Выполните символизацию трансформированного слоя по методу *Градуированные цвета* (рис. 5.8).

Шаг 11. Самостоятельно создайте карты-анаморфозы по следующим атрибутивным полям слоя АТЕ: «Пром_произв» (объем промышленного производства, млрд неденоминированных руб., 2014 г.), «Урожай_зерновых» (урожайность зерновых и зернобобовых культур, ц с 1 га, 2014 г.), «Погол_КРС» (поголовье крупного рогатого скота, тыс. голов, 2014 г.) и «Розн_товарооб» (розничный товарооборот, млрд. неденоминированных руб., 2014 г.). Выполняйте символизацию трансформированных слоев по методу *Градуированные цвета*.

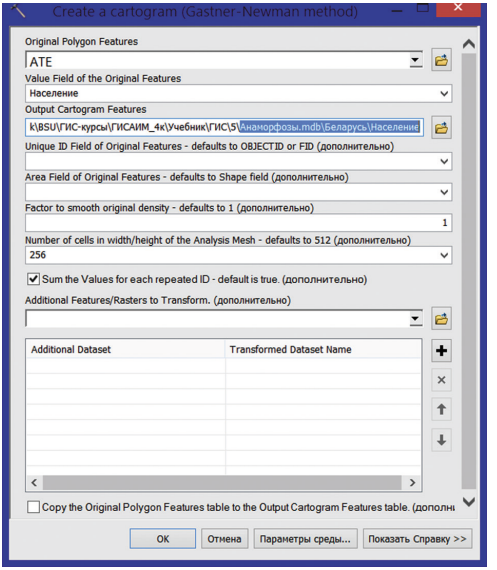


Рис. 5.7

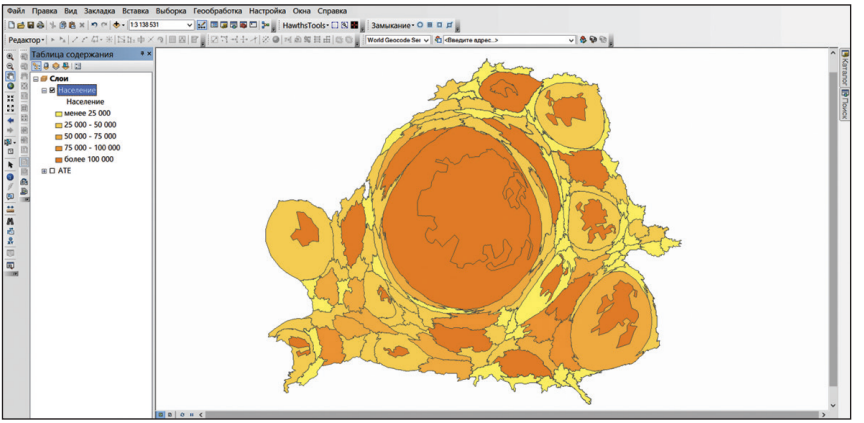


Рис. 5.8

Контрольные вопросы

1. Поясните понятие «карта-анаморфоза».
2. Раскройте математический и картографический смыслы трансформации слоя в слой-анаморфозу.
3. Опишите алгоритм построения карты-анаморфозы в среде ГИС ArcGIS.

Лабораторная работа 6
Растровый гидрологический ГИС-анализ

Цель: освоить алгоритмы растрового гидрологического ГИС-анализа.

Исходные данные: БГД «Гидрологическое моделирование», содержащая следующие классы пространственных объектов: «Граница_участка», «Горизонтали», «Отметки_высот», «Отметки_урезов_воды», «Реки», «Водоемы».

Ход работы

Растровый гидрологический ГИС-анализ представляет собой комплексную методику, позволяющую в автоматическом режиме по грид-поверхности рельефа производить расчет основных русловых и бассейновых морфометрических характеристик, влияющих на характер поверхностного стока; автоматически выделять постоянные и временные водные потоки; выполнять бассейновую дифференциацию территории.

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Гидрология». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Шаг 2. Добавьте в проект все классы пространственных объектов БГД «Гидрологическое моделирование» («Граница_участка», «Горизонтали», «Отметки_высот», «Отметки_урезов_воды», «Реки», «Водоемы»), воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 3. Выполните *символизацию* слоя «Граница». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Кликните по пиктограмме символа и выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – нет, *Цвет контура* – красный (красный марс), *Ширина контура* – 1,5.

Аналогично подберите символизацию по методу *Единый символ* для всех остальных слоев проекта. Для слоя «Отметки_высот» выберите параметры: *Символ* «Круг 2», *Цвет* – черный, *Размер* – 6; для слоя «Отметки_урезов_воды»: *Символ* «Круг 2», *Цвет* – синий (критский синий), *Размер* – 6; для слоя «Горизонтали»: линия оранжевого цвета (янтарно-золотой), *Ширина* – 1; для слоя «Водоемы»: *Цвет заполнения* – синий (критский синий), *Ширина контура* – 0; для слоя «Реки»: линия синего цвета (критский синий), *Ширина* – 1.

Создайте надписи объектов слоя «Горизонтали». В свойствах слоя, в закладке *Надписи* отметьте галочкой опцию *Надписать объекты этого слоя*, выберите полем надписи *H* и символизируйте надписи: *Шрифт* – Arial, *Размер* – 6, *Цвет* – коричневый (темный янтарь). Нажав кнопку *Размещение*, выберите положение *На линии*.

Сформируйте надписи аналогичного шрифта и размера для слоев «Отметки_высот» (черного цвета) и Отметки_урезов_воды» (синего цвета). Выбирайте полем для надписи у обоих слоев поле H (рис. 6.1).

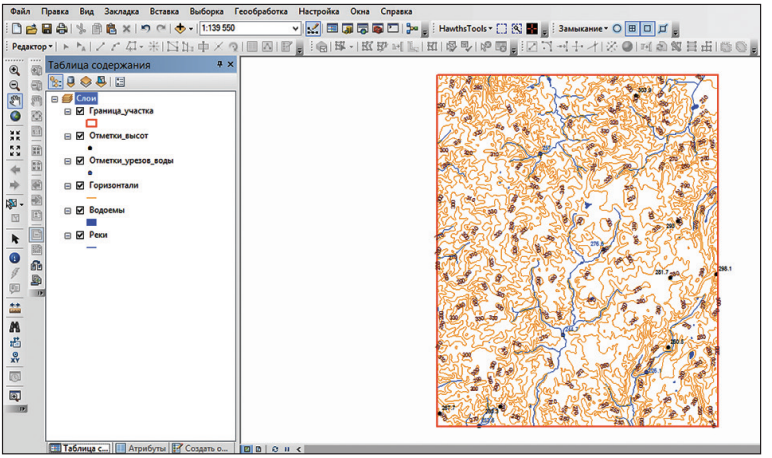


Рис. 6.1

Шаг 4. Гидрологическое ГИС-моделирование осуществляется на основе цифровой модели рельефа. Для построения последней в ArcGIS существует функция *Topo в растр*, позволяющая рассчитать модель рельефа, качество которой многократно превышает качество моделей, получаемых обычными методами интерполяции (обратно взвешенных расстояний, сплайн, кригинг и др.). Для создания грид-модели рельефа используются векторные слои горизонталей, отметок высот и урезов воды, естественных и искусственных водоемов, водных потоков.

Для построения модели «Топо в растр» включите модуль Spatial Analyst. Зайдите в меню *Настройка* → *Дополнительные модули* и отметьте галочкой модуль Spatial Analyst.

Откройте окно *ArcToolbox*, найдите инструмент *Топо в растр* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Интерполяция* → *Топо в растр*). В качестве входных объектов укажите все классы пространственных данных БГД «Гидрологическое моделирование» («Граница_участка», «Горизонтали», «Отметки_высот», «Отметки_урезов_воды», «Реки», «Водоемы»). Тип данных укажите как на рис. 6.2. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Topogrid. После необходимых расчетов грид-модель рельефа будет создана.

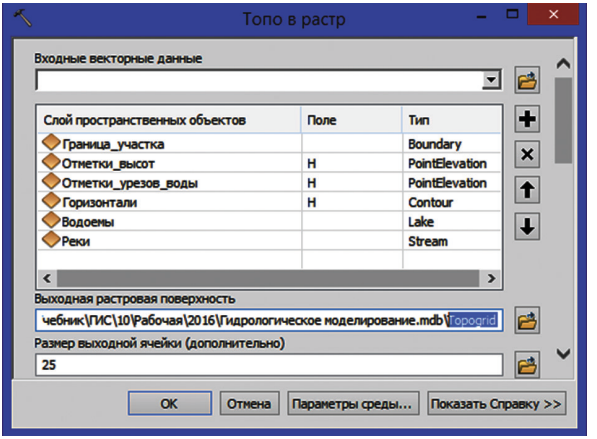


Рис. 6.2

Выполните заполнение локальных понижений рельефа (необходимо для коррекции модели), для чего активируйте инструмент *Заполнение* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Гидрология* → *Заполнение*). В качестве входной растровой поверхности установите модель Topogrid. Выходную растровую поверхность сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Fill_Topogrid. После необходимых расчетов модель будет создана.

Удалите поверхность Topogrid из проекта. Для этого сделайте клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Удалить*.

В таблице содержания проекта отключите отображение слоев «Горизонтали», «Отметки_высот», «Отметки_урезов_воды» (уберите галочки напротив этих слоев в таблице содержания).

Зайдите в свойства слоя Fill_Topogrid (клик правой кнопкой по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*). На вкладке *Символы* выберите *Показать: Классификация*. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В окне *Классификация* выберите параметры: *Метод* – Заданный интервал и *Интервал* – 10 м (рис. 6.3). Выберите для грид-модели цветовую схему, сочетающую в себе оттенки зеленого, желтого и коричневого (рис. 6.4).

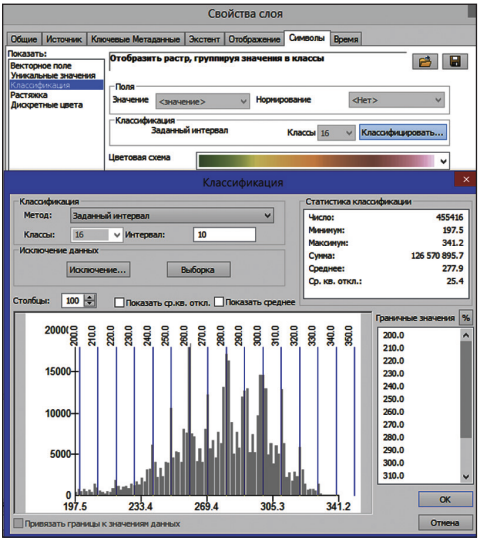


Рис. 6.3

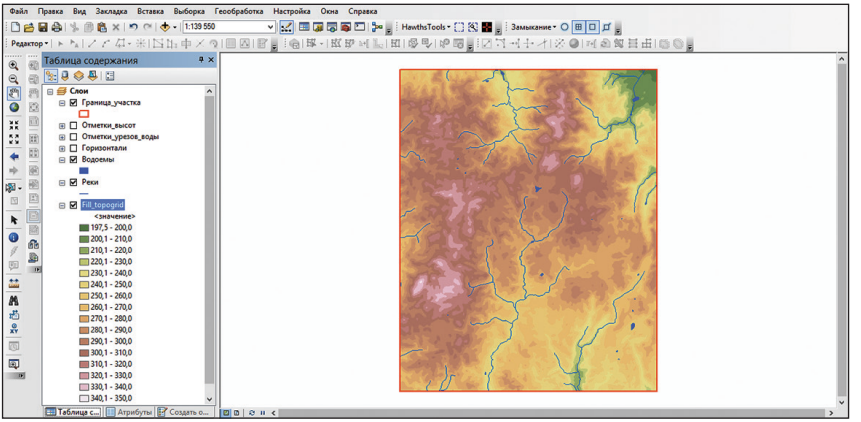


Рис. 6.4

Шаг 5. Расчет основных русловых и бассейновых морфометрических характеристик осуществляется с помощью линейки инструментов «Гидрология» (рис. 6.5) модуля Spatial Analyst ГИС ArcGIS на основе модели «Топо в растр». Создание поверхности «Направление стока» позволяет определить в пределах объекта исследований территории разнонаправленного (по сторонам света) стока.

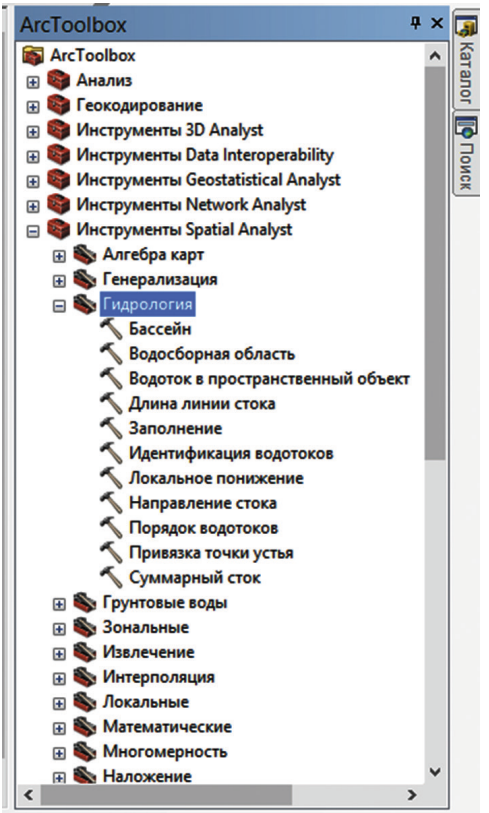


Рис. 6.5

Суть моделирования заключается в том, что каждой ячейке грид-модели присваивается код направленности из нее поверхностного стока в сторону соседней, являющейся наиболее гипсометрически пониженной (рис 6.6). Если сток из ячейки направлен на восток, ей присваивается значение 1, юг – 4, запад – 16 и север – 64.

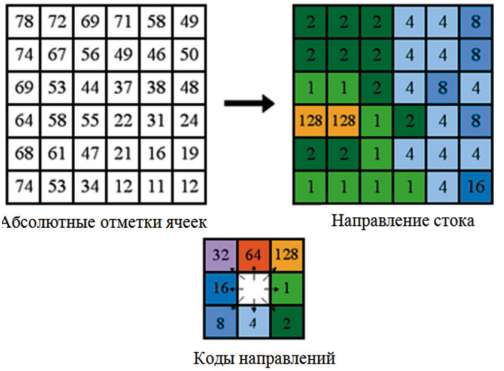


Рис. 6.6

Для расчета грид-модели направления стока найдите инструмент *Направление стока* (*Инструменты Spatial Analyst → Гидрология → Направление стока*). В качестве входной растровой поверхности установите модель Fill_Topogrid. Выходную растровую поверхность сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем FlowDirection. После необходимых расчетов грид-направление стока будет создано.

Зайдите в свойства слоя FlowDirection. На вкладке *Символы* выберите *Показать: Уникальные значения*. После этого нажмите кнопку *Импорт*. В окне *Импорт символов* импортируйте легенду FlowDirection.lyr (находится в папке исходных данных по выполнению задания) (рис. 6.7).

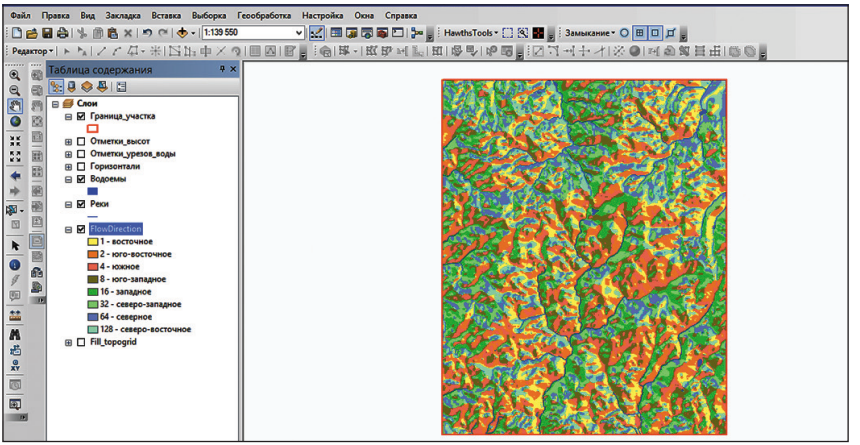


Рис. 6.7

Шаг 6. Создайте поверхность «Суммарный сток». Она строится на основании модели направления стока и отражает количество ячеек растра, сток которых направлен в каждую конкретную ячейку модели (рис. 6.8). По ней четко определяются области формирования и развития поверхностного стока, а также характер увеличения размеров русла и водности водотоков по мере продвижения от истоков к устью.

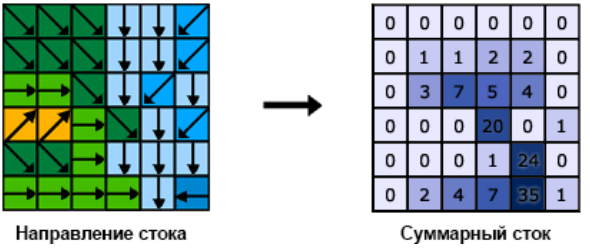


Рис. 6.8

Для расчета грид-модели найдите инструмент *Суммарный сток* (*Инструменты Spatial Analyst → Гидрология → Суммарный сток*). В качестве входной растровой поверхности установите модель FlowDirection. Выходную растровую поверхность сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем FlowAccum. После необходимых расчетов грид-модель суммарного стока будет создана.

Зайдите в свойства слоя FlowAccum. На вкладке *Символы* выберите *Показать: Растяжка*. Выберите *Цветовую схему* оттенков синего цвета (рис. 6.9). Поставьте галочку на опции *Применять растяжку гаммы* и введите значение 7.

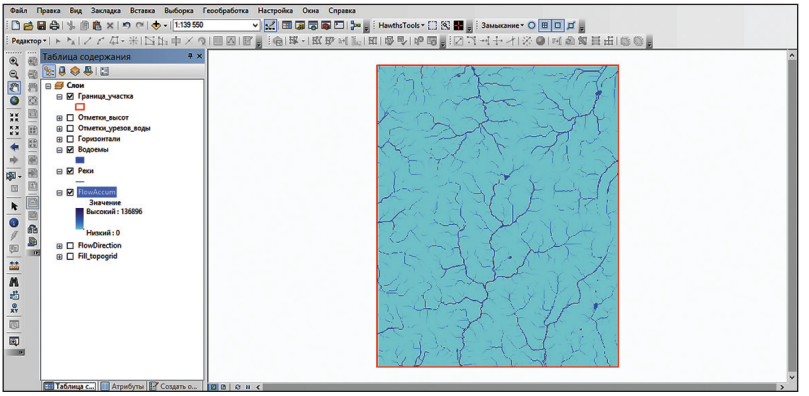


Рис. 6.9

Шаг 7. На основании модели суммарного стока в автоматическом режиме выделяются постоянные (ручьи и реки) и временные (эрозионные борозды, промоины, овраги, балки и овражно-балочные системы) водотоки. Для этого активируйте инструмент *Установить ноль* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Условия* → *Установить ноль*). В диалоговом окне инструмента в качестве входного растра, удовлетворяющего условиям, установите модель FlowAccum. Нажав кнопку *SQL* в строке *Выражение,* сформируйте выражение «Value < 100». Входным растром значения «ложь» или «константа» определите FlowAccum. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Stream_raster (рис. 6.10). После необходимых расчетов растр водотоков будет создан (рис. 6.11).

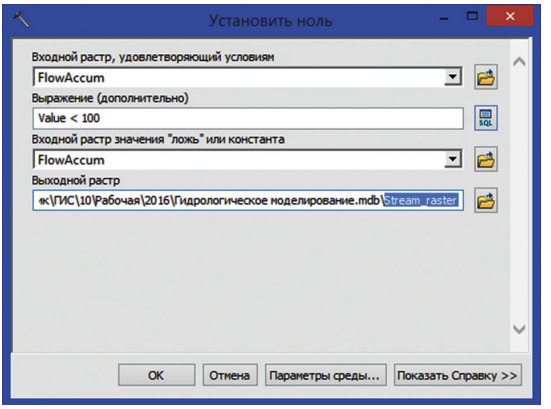


Рис. 6.10

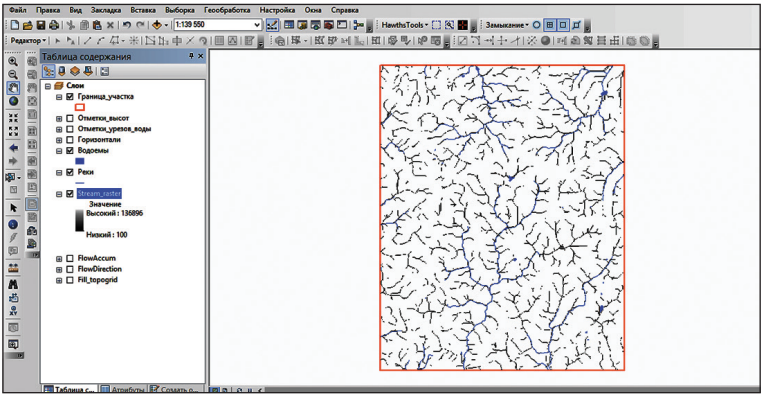


Рис. 6.11

Шаг 8. Конвертируйте растр постоянных и временных водотоков в векторы. Вызовите инструмент *Идентификация водотоков* (*Инструменты Spatial Analyst → Гидрология → Идентификация водотоков*). В качестве входного растра водотоков установите модель Stream_raster, входного растра направления стока – модель FlowDirection. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Stream_link.

В окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Водоток в пространственный объект* (*Инструменты Spatial Analyst → Гидрология → Водоток в пространственный объект*). В качестве входного растра водотоков установите модель Stream_link, входного растра направления стока – модель FlowDirection. *Выходные линейные объекты* сохраните в виде класса пространственных объектов «Водотоки» набора пространственных объектов «Слои» БГД «Гидрологическое моделирование». После необходимых расчетов векторный слой водотоков будет добавлен в проект (рис. 6.12).

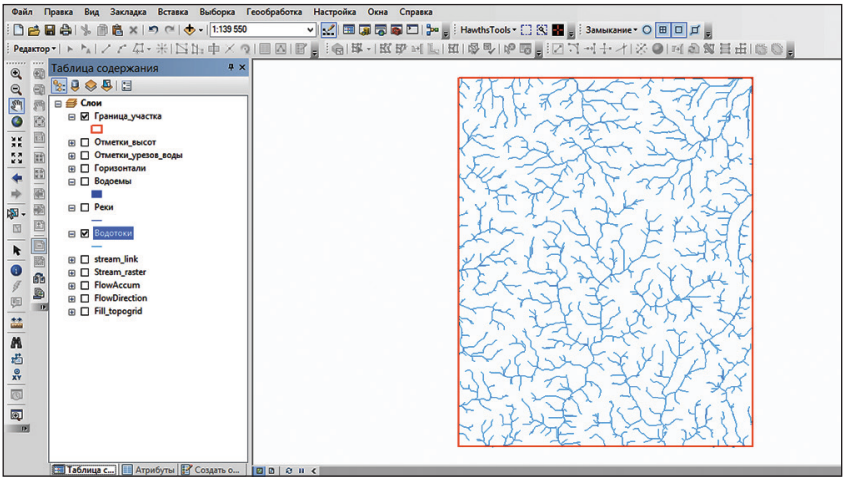
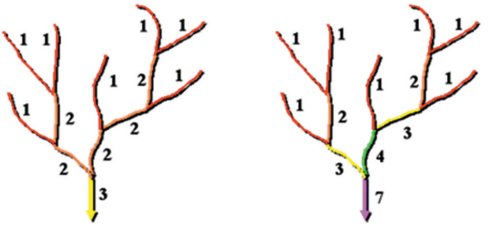


Рис. 6.12

Шаг 9. Рассчитайте порядки водотоков. С помощью набора инструментов «Гидрология» модуля Spatial Analyst порядки водотоков рассчитываются в зависимости от количества их притоков по методу Страллера или Шрива. По методу Страллера элементарным водотокам, русла которых не имеют притоков, присваивается первый порядок. Второй порядок получают водотоки после слияния двух водотоков первого порядка. Два водотока второго порядка, соединяясь, дают начало водотоку третьего порядка и т. д. Метод Шрива предполагает присвоение порядка водотоку в зависимости от количества его притоков (рис. 6.13).



Метод Страллера Метод Шрива

Рис. 6.13

Для создания грид-модели порядков водотоков в окне *ArcToolbox* выберите инструмент *Порядок водотоков* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Гидрология* → *Порядок водотоков*). В качестве входного растра водотоков укажите модель Stream_raster, входного растра направления стока – модель FlowDirection. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Stream_order. В качестве метода определения порядков водотоков выберите Strahler. После необходимых расчетов грид-модель порядка постоянных и временных водных потоков будет создана. Подберите символы для порядков водотоков, как показано на рис. 6.14.

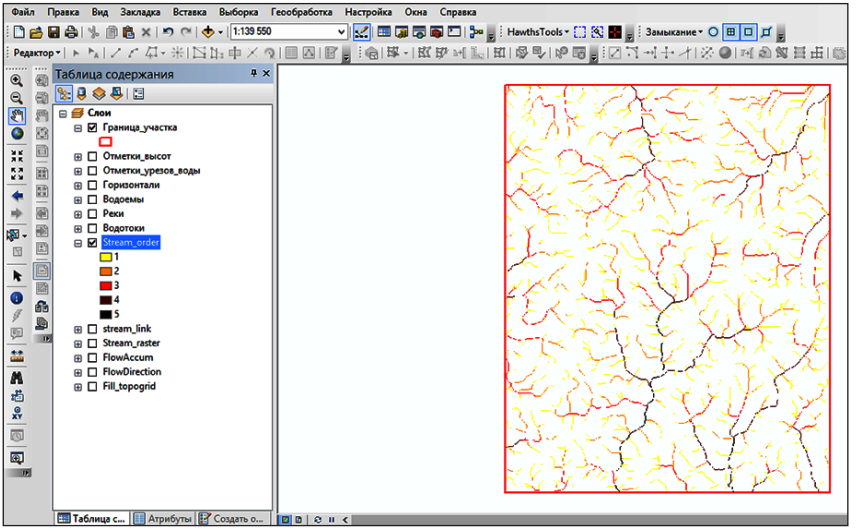


Рис. 6.14

Шаг 10. Создайте модель времени прохождения воды по линии стока. Для этого найдите инструмент *Длина линии стока* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Гидрология* → *Длина линии стока*). В качестве входного растра направления *стока* выберите модель FlowDirection. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Flow_length. В качестве направления измерений установите Upstream. После необходимых расчетов грид-модель длины линии стока будет создана.

По среднемноголетним данным, зафиксированным на гидропостах данной территории, средняя скорость течения водных потоков составляет 0,3 м/с (18 м/мин, 1,08 км/ч). Классифицируйте водные потоки объекта исследований по времени прохождения через них воды за 2,5 часа. Для этого зайдите в свойства слоя Flow_length (клик правой кнопкой по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*). На вкладке *Символы* выберите *Показать: Классификация*. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В окне *Классификация* выберите метод – заданный интервал, в качестве интервала выберите 2700 м (1,08 км/ч · 2,5 ч = 2,7 км). Подберите символы классов и заполните с использованием клавиатуры в поле *Подпись* их интервалы (в часах), как показано на рис. 6.15.

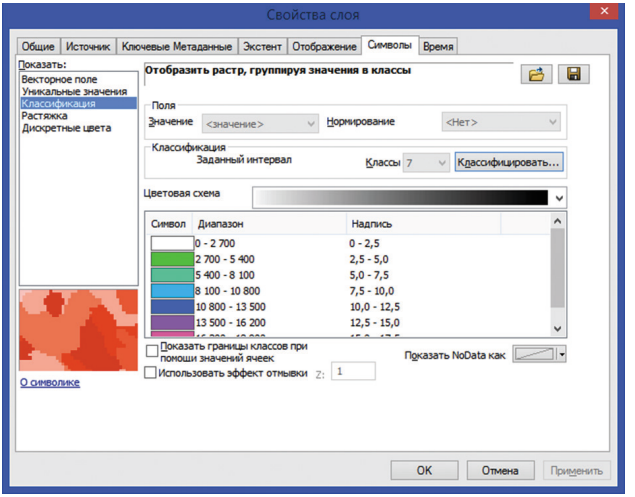


Рис. 6.15

Переименуйте слой Flow_length в «Скорость движения воды, ч» (рис. 6.16). Для этого сделайте клик правой кнопкой по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*. Выберите закладку *Общие* и внесите изменения в поле *Имя слоя*.

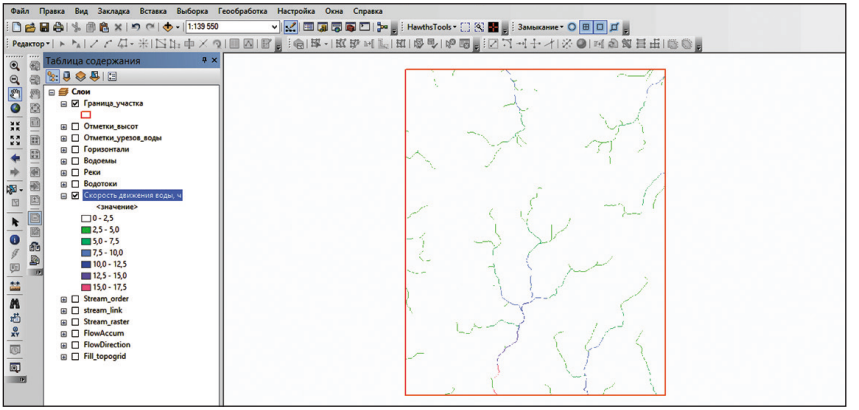


Рис. 6.16

Шаг 11. Выберите в автоматическом режиме бассейны рек района исследований. В окне *ArcToolbox* найдите инструмент *Бассейн* (*Инструменты Spatial Analyst* → *Гидрология* → *Бассейн*). В качестве входного растра направления стока выберите модель FlowDirection. Выходной растр сохраните в БГД «Гидрологическое моделирование» под именем Basin. После необходимых расчетов грид-модель бассейнов рек будет создана.

Зайдите в свойства слоя Basin (клик правой кнопкой по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*). На вкладке *Символы* выберите *Показать: Уникальные значения*. Подберите понравившуюся вам цветовую схему для уникальных значений (рис. 6.17).

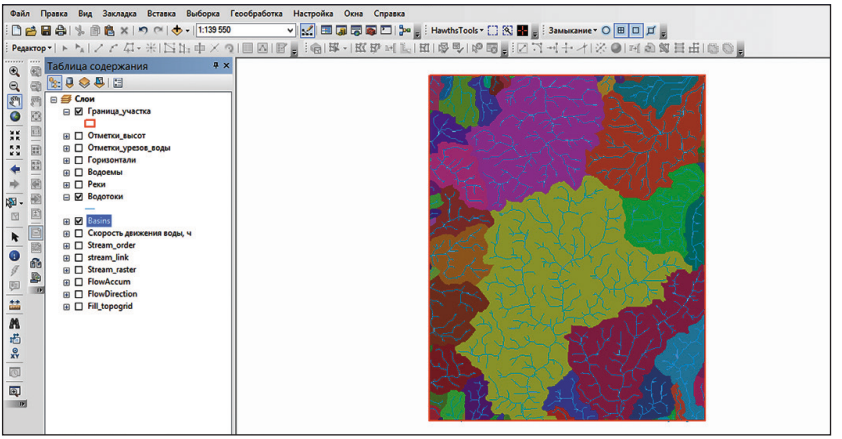


Рис. 6.17

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите основную последовательность шагов по выполнению в среде ArcGIS растрового гидрологического ГИС-анализа.

2. Обозначьте основные отрасли науки и практики, в которых возможно использование растрового гидрологического ГИС-анализа.

3. Для каких задач кроме растрового гидрологического ГИС-анализа можно использовать модель рельефа, построенную по методу *Topo в растр*?

Лабораторная работа 7
Геостатистический ГИС-анализ

Цель: освоить алгоритмы создания интерполяционных поверхностей геостатистическими методами интерполяции.

Исходные данные: БГД «НП_Нарочанский», содержащая в себе следующие классы пространственных объектов: Border, Soil_sampling и НП_points, набор растровых данных relief.

Ход работы

7.1. Подготовка исходных данных для ГИС-анализа

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Создайте проект «Геостатистический анализ». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Зайдите в меню *Настройка* → *Дополнительные модули* и отметьте галочкой модуль Geostatistical Analyst, чтобы в дальнейшем использовать его.

Шаг 2. Добавьте панель инструментов *Geostatistical Analyst* (*Настройка* → *Панели инструментов* → *Geostatistical Analyst*).

Шаг 3. Нажмите кнопку *Добавить данные* на стандартной панели инструментов. Перейдите к базе геоданных «НП_Нарочанский», выберите классы пространственных объектов Border (граница национального парка) и Soil_sampling (результаты химического анализа проб почв).

Шаг 4. Слой Border символизируйте следующим образом: *Цвет заливки* – нет цвета, *Ширина контура* – 2, *Цвет контура* – красный. Отобразите Soil_sampling методом *Градуированные цвета* (расположен в рубрике «Количество»). В качестве поля значений установите Fe (железо). В окне *Классифицировать* выберите метод – геометрический интервал,

задайте *Число классов* – 5. Выберите черно-белую цветовую шкалу, чтобы точки выделялись на цветных поверхностях, которые будут созданы в данной лабораторной работе (рис. 7.1).

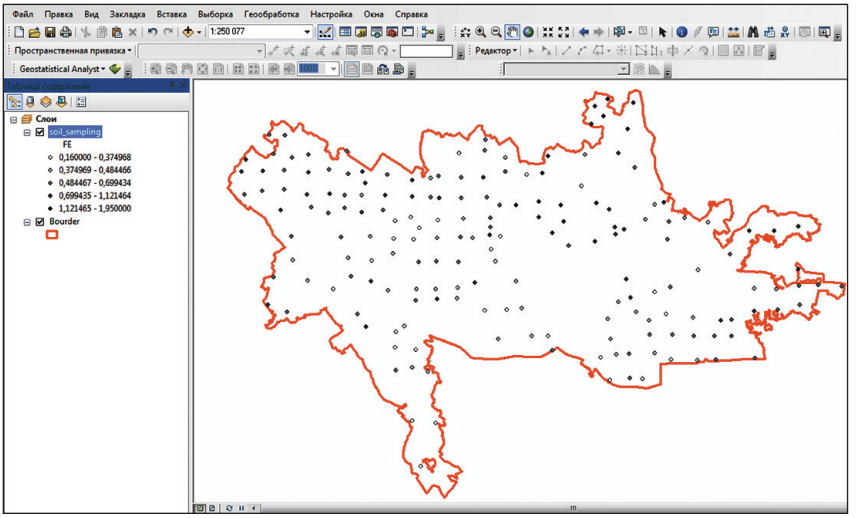


Рис. 7.1

Обратите внимание, что самые высокие значения содержания железа в почвах – на севере, а точнее на северо-востоке национального парка «Нарочанский». Нанесение данных на карту – это первый шаг в процессе их анализа и получения более глубокого представления о моделируемом явлении.

7.2. Создание интерполяционной поверхности с использованием параметров по умолчанию

Шаг 1. В качестве входного набора данных используйте точечный слой Soil_sampling, содержащий данные о концентрации ряда химических элементов в поверхностном горизонте почвы. Проинтерполируйте поверхность содержания железа в почвах исследуемой территории методом обычного кригинга, используя параметры модуля Geostatistical Analyst по умолчанию.

На панели инструментов *Geostatistical Analyst* выберите пункт «Мастер операций геостатистики» (рис. 7.2).

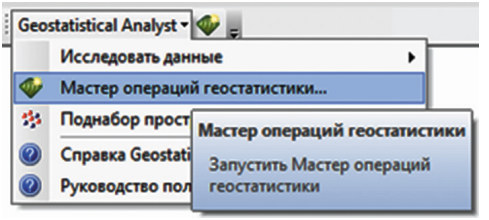


Рис. 7.2

В появившемся диалоговом окне *Мастер операции геостатистики* в разделе Геостатистические методы укажите «Кригинг/Кокригинг». Исходным набором данных будет являться Soil_sampling, для параметра *Поле даты* выберите Fe (рис. 7.3). Нажмите кнопку *Далее*.

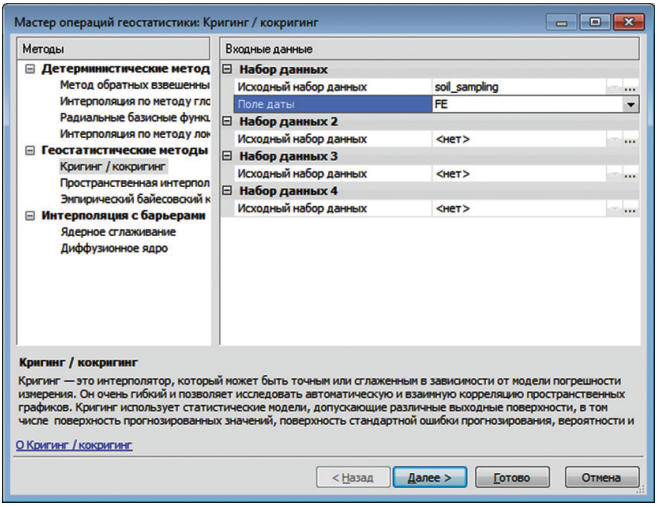


Рис. 7.3

Шаг 2. В следующем окне *Мастер операций геостатистики* в разделе *Тип кригинга* укажите «Ординарный кригинг». Обратите внимание, что в качестве типа выходной поверхности выбрана *Интерполяция*. Остальные параметры оставьте указанными по умолчанию. Нажмите кнопку *Готово*.

Диалоговое окно *Отчет метода* будет содержать сводную информацию о методе (и связанных с ним параметрах), который будет использоваться для создания выходной поверхности (рис. 7.4).

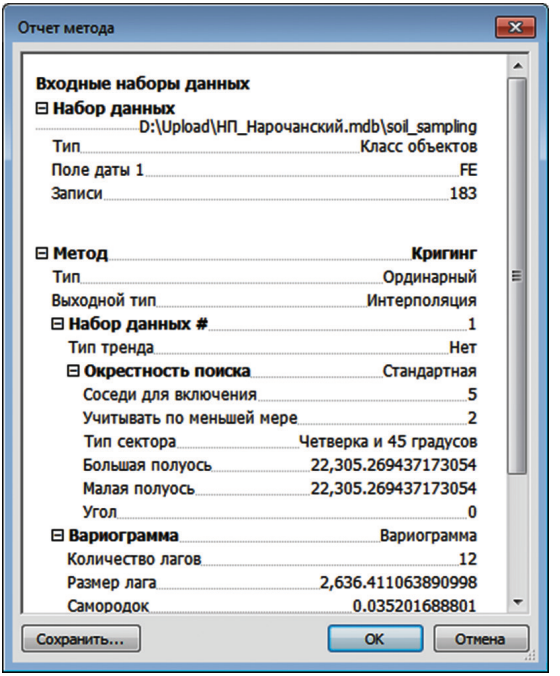


Рис. 7.4

Щелкните *OK*. Карта проинтерполированных значений содержания железа в почвах исследуемой территории добавится в виде верхнего слоя в таблицу содержания проекта.

Шаг 3. Измените имя полученного слоя на «Кригинг по умолчанию» (*Свойства слоя* → *Общие* → *Имя слоя*).

Шаг 4. Ограничьте интерполируемую поверхность границей национального парка «Нарочанский». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Экстент*. В раскрывающемся списке *Установить экстент равным* укажите «Прямоугольный экстент Border» и нажмите *OK*.

В контекстном меню фрейма данных «Слои» выберите *Свойства*, а затем перейдите на вкладку *Фрейм данных*. Щелкните по меню *Опции вырезания*, выберите *Вырезать по форме*, а затем нажмите на кнопку *Задать форму*. В диалоговом окне *Вырезание фрейма данных* щелкните по разделу *Контур объектов*, в качестве слоя укажите Border (рис. 7.5). Нажмите *OK*.

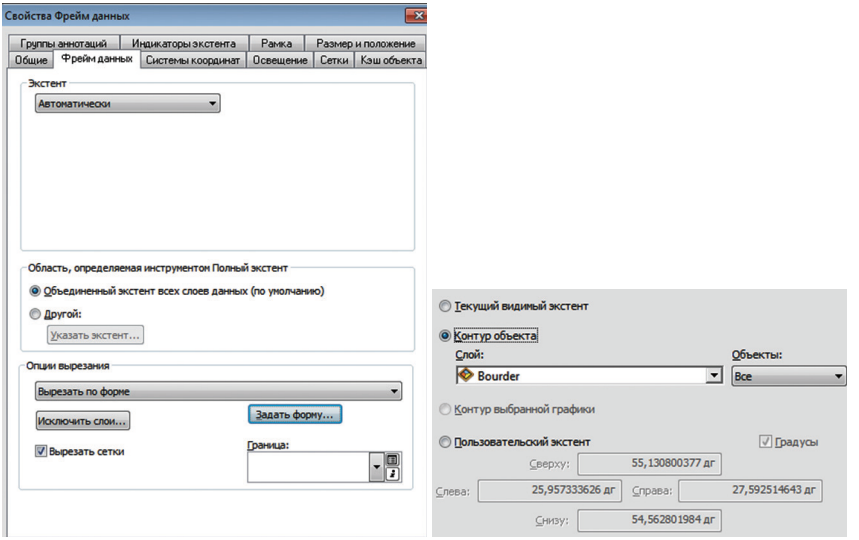


Рис. 7.5

Поверхность проинтерполированных значений будет вырезана таким образом, что данные за границей национального парка не будут отображаться (рис. 7.6).

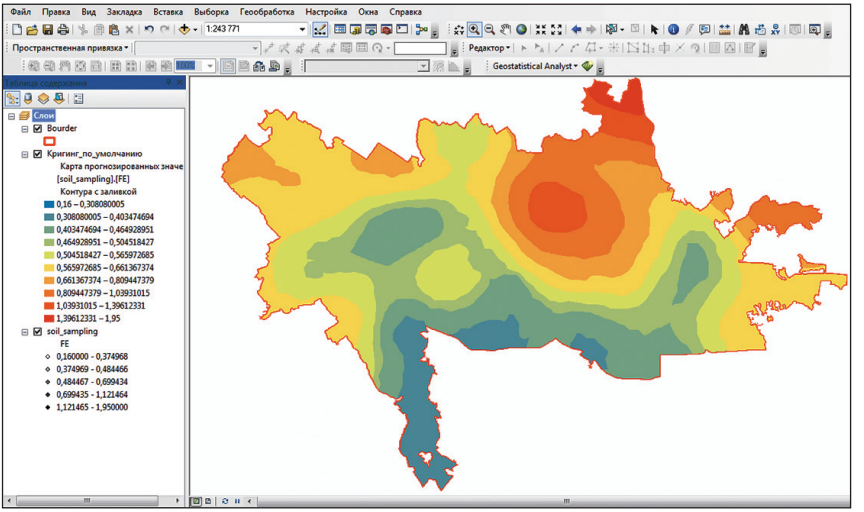


Рис. 7.6

Шаг 5. Перетащите слой Soil_sampling в верхнюю часть таблицы содержания. Визуально оцените, насколько точно слой «Кригинг по умолчанию» отображает значения концентрации железа.

Шаг 6. Щелкните правой кнопкой мыши по слою «Кригинг по умолчанию» в таблице содержания и выберите *Проверка/Интерполяция*. Откроется диалоговое окно инструмента геообработки *Слой GA в точки*, где в качестве входного геостатистического слоя будет задан слой «Кригинг по умолчанию». Для заполнения параметра *Местоположения точек наблюдения* перейдите в базу геоданных «НП «Нарочанский» и выберите класс пространственных объектов НП_points (слой проверки проинтерполированных значений в случайно выбранных точках местности). *Выходную статистику для точечного местоположения* сохраните как НП_points_Fe в базе геоданных «НП «Нарочанский». Диалоговое окно инструмента *Слой GA в точки* должно выглядеть аналогично рис. 7.7.

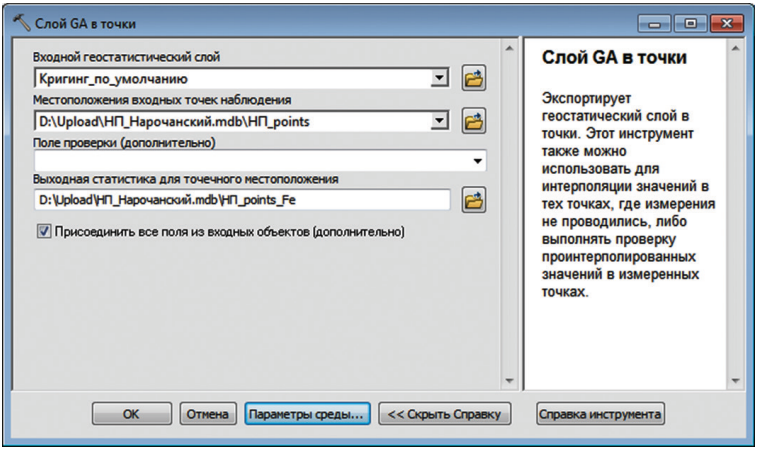


Рис. 7.7

Шаг 7. Щелкните правой кнопкой мыши по появившемуся в таблице содержания слою НП_points_Fe и выберите *Открыть таблицу атрибутов*. Обратите внимание, что каждому объекту слоя соответствует проинтерполированное значение концентрации железа, а также значение стандартной ошибки (которое показывает уровень неопределенности, связанной с интерполяцией концентрации железа для каждой точки).

Проанализируйте, для каких точек характерна наибольшая стандартная ошибка.

7.3. Создание интерполяционной поверхности методом кригинга

Создание поверхности методом кригинга предполагает выполнение ряда последовательных этапов:

1) исследовательский анализ геоданных;

2) подбор модели для построения интерполяционной поверхности;

3) проверка качества интерполяционной модели;

4) сравнение интерполяционных моделей (если построено несколько моделей).

Исследовательский анализ геоданных

Первым и весьма важным этапом при создании поверхности методом кригинга является статистический анализ данных, позволяющий определить наличие ошибок и артефактов в данных, оценить базовые статистические закономерности, провести корреляционный анализ при наличии нескольких переменных.

Дальнейший пространственный анализ предполагает исследование и моделирование пространственной корреляции между данными по одной или нескольким переменным. Мерой пространственной корреляции является вариограмма.

Кригинг является лучшим среди всех несмещенных интерполяторов в том случае, когда данные подчиняются закону нормального распределения. Оценка распределения может быть выполнена с помощью инструментов *Гистограмма* и *Нормальный график КК*.

Шаг 1. На панели инструментов *Geostatistical Analyst* щелкните по стрелке *Geostatistical Analyst* и в ниспадающем меню выберите *Исследовать данные* → *Гистограмма*. Инструмент гистограммы показывает плотность распределения и подсчитывает суммарную статистику.

Гистограмма – график, показывающий частоту попаданий значений переменной в отдельные интервалы. Гистограмма позволяет исследователю на глаз оценить нормальность эмпирического распределения. Если анализируемый показатель подчиняется нормальному закону распределения, гистограмма будет иметь унимодальную симметрическую форму (рис. 7.8).

В разделе *Источник данных* диалогового окна *Гистограмма* в качестве слоя укажите Soil_sampling, атрибута – Fe. Гистограмма распределения концентраций железа в почвах национального парка «Нарочанский» говорит о том, что распределение данных является одновершинным и характеризуется положительной асимметрией (правый «хвост» значительно длиннее левого) (рис. 7.9, *а*).

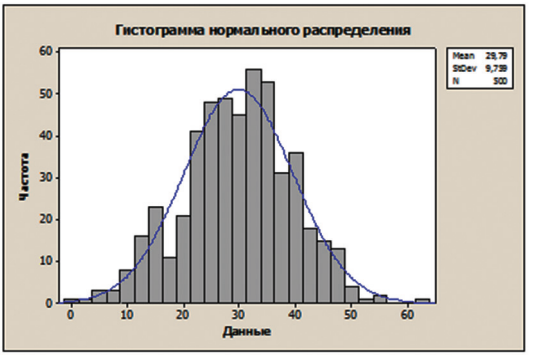
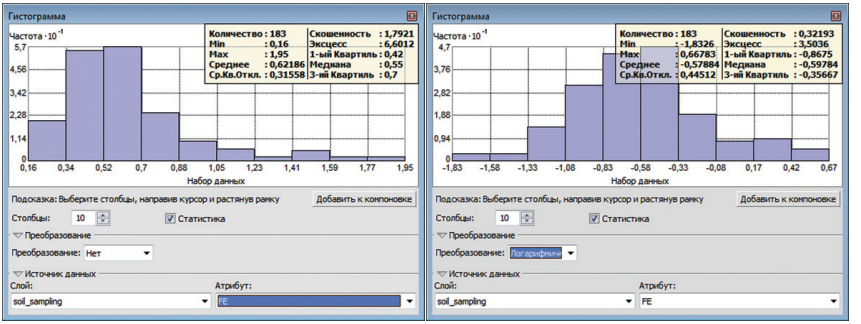


Рис. 7.8



а *б*

Рис. 7.9

Важными характеристиками распределения являются его центральное значение, разброс и симметрия. Можно провести быструю проверку: если среднее и медиана примерно равны, то это аргумент в пользу того, что данные могут быть распределены по нормальному закону. В нашем примере средняя арифметическая (0,62) заметно отличается от медианы (0,55). Показатель асимметрии (скошенность) 1,79 свидетельствует о значительной правосторонней асимметрии. К асимметричным данным применяется логарифмическое преобразование, позволяющее приблизить распределение к нормальному.

В диалоговом окне *Гистограмма* щелкните по стрелке *Преобразование* и выберите «Логарифмическое» (рис 7.9, *б*).

Щелкните по кнопке *Закрыть* в верхнем углу диалогового окна *Гистограмма*.

Шаг 2. На панели инструментов *Geostatistical Analyst* щелкните по стрелке *Geostatistical Analyst* и в ниспадающем меню выберите *Исследовать данные → Нормальный график КК* (рис. 7.10).

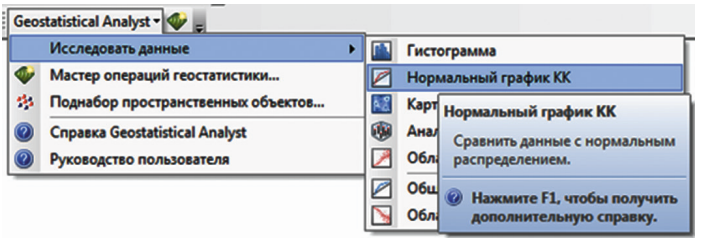


Рис. 7.10

График «квантиль – квантиль» (КК) используется для сравнения распределения данных со стандартным нормальным распределением, предоставляя еще один способ оценить соответствие данных нормальному закону. Чем ближе точки к прямой линии на графике (расположенной под углом 45 градусов), тем ближе распределение опорных данных к нормальному закону.

В качестве источника данных установите: *Слой* – Soil_sampling, *Атрибут* – Fe. Полученный нормальный график КК не стремится к прямой линии. Основное отклонение от этой линии наблюдается при низких и высоких значениях концентрации железа.

Шаг 3. Измените размер диалогового окна *Нормальный график КК* и переместите его так, чтобы также была видна карта, как показано на рис. 7.11.

Выберите точки на графике со значениями концентрации железа выше 1,20 %, щелкнув по левой кнопке мыши и протащив курсор по этим точкам. Опорные точки в данном диапазоне будут выделены на карте.

Шаг 4. В разделе *Преобразование* диалогового окна *Нормальный график КК* выберите «Логарифмическое». После преобразования точки на графике будут расположены гораздо ближе к прямой линии.

Нормальный график КК, как и гистограмма, свидетельствует о том, что данные не распределены по нормальному закону; чтобы привести их в соответствие с нормальным распределением, необходимо выполнить преобразование данных и лишь затем использовать определенные методы интерполяции на основе метода геостатистики – кригинга.

Щелкните по кнопке *Очистить выбранные объекты* на панели *Инструменты*. Закройте диалоговое окно *Нормальный график КК*.

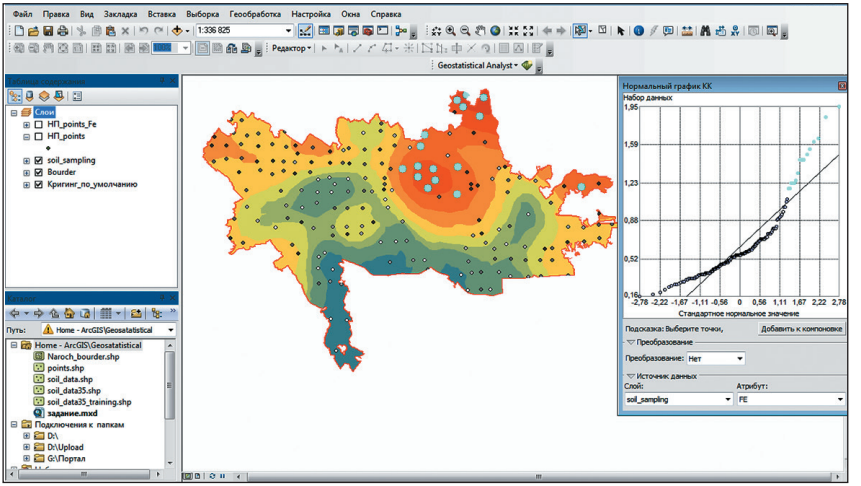


Рис. 7.11

Шаг 5. На панели инструментов *Geostatistical Analyst* в ниспадающем меню выберите *Исследовать данные*, а затем *Анализ тренда*.

Инструмент *Анализ тренда* позволяет выявлять тренды (т. е. определенные зависимости значений исследуемого показателя от пространственного местоположения) в наборе входных данных. Если в данных присутствует тренд, тогда из анализа значений в опорных точках тренд вычитается и моделируется только случайная компонента; перед окончательным интерполированием поверхности тренд добавляется обратно.

В диалоговом окне *Анализ тренда* в поле *Слой* выберите Soil_sampling, *Атрибут* – Fe.

Каждый вертикальный отрезок на графике анализа тренда представляет местоположение, а высота отрезка – значение каждого измерения. Точки данных проецируются на перпендикулярные плоскости: восток – запад и север – юг. Линия наилучшего соответствия (полином) проведена через проецируемые точки и показывает тренды в определенных направлениях. Если бы линия была ровной, это означало бы, что трендов нет. Однако синяя линия на рис. 7.12 начинается с высоких значений, а затем плавно снижается. Это говорит о некотором тренде с северо-северо-востока на юго-юго-запад.

Шаг 6. Щелкните по полосе прокрутки *Повернуть местоположения* и прокручивайте влево, пока угол поворота не достигнет 90 градусов, как на рис. 7.13.

Обратите внимание, что в процессе поворота форма тренда сохраняется, также тренд не кажется более выраженным для какого-либо определенного угла поворота, что подтверждает сделанное ранее наблюдение о наличии тренда с северо-северо-востока на юго-юго-запад. Для описания формы выявленного тренда оптимально использовать полином первого порядка в качестве глобальной модели тренда.

Закройте диалоговое окно инструмента *Анализ тренда*.

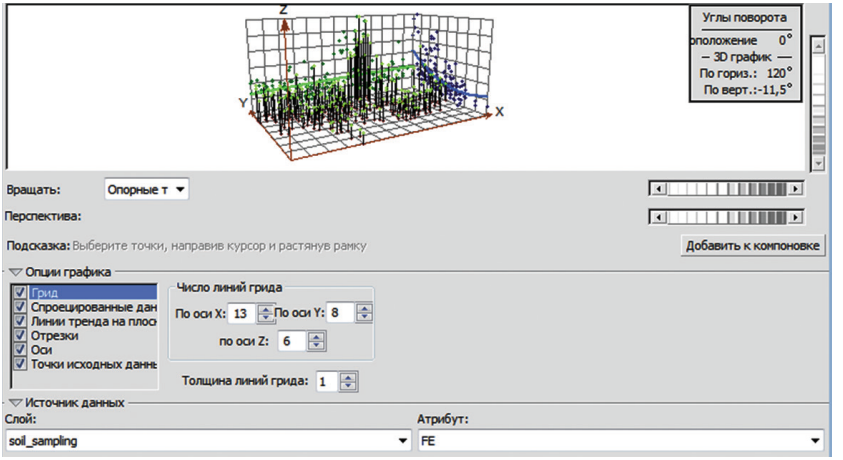


Рис. 7.12

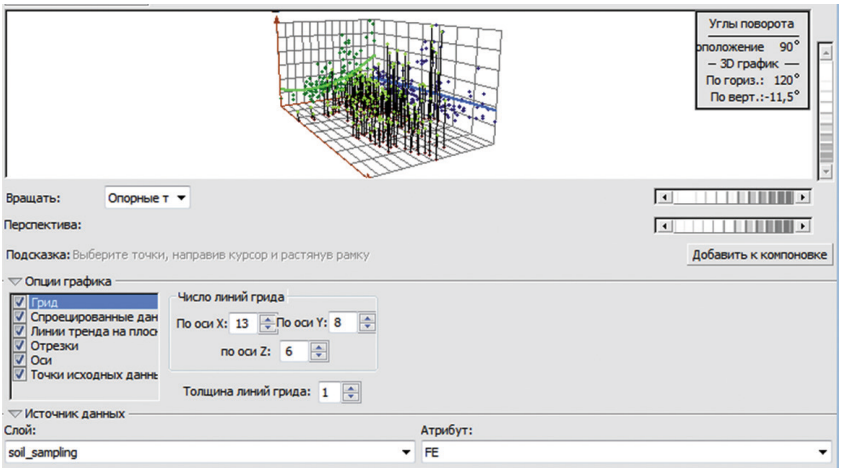


Рис. 7.13

Шаг 7. На панели инструментов *Geostatistical Analyst* щелкните по стрелке и в ниспадающем меню выберите *Исследовать данные* → *Облако вариограммы/ковариации* (рис. 7.14).

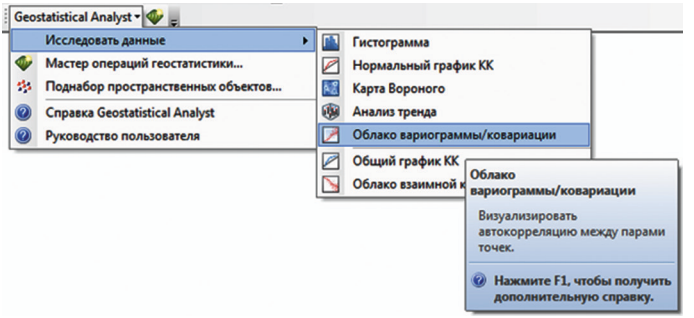


Рис. 7.14

Шаг 8. В разделе *Источник данных* диалогового окна *Облако вариограммы/ковариации* установите: *Слой* – Soil_sampling, *Атрибут* – Fe (рис. 7.15).

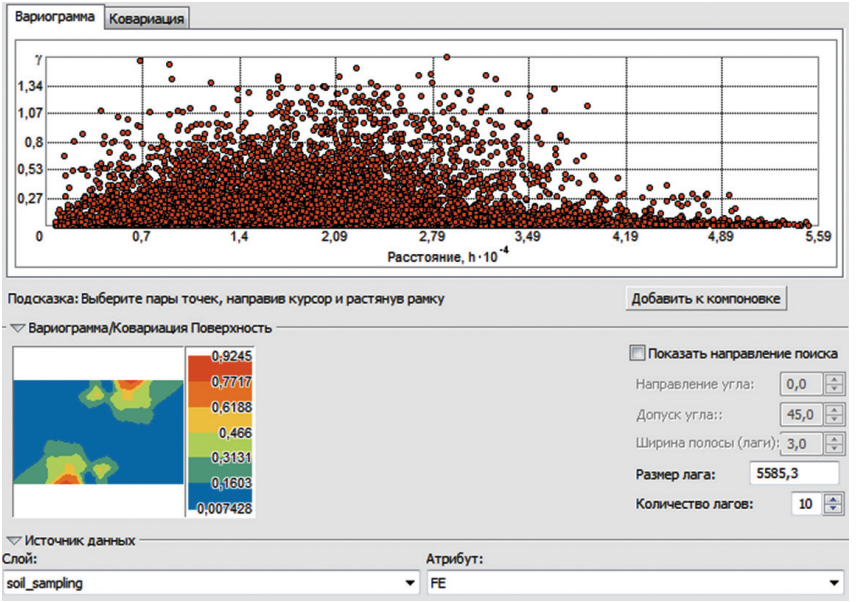


Рис. 7.15

Вариограмма – это инструмент оценки степени пространственной корреляции, имеющейся в конкретном наборе данных. График вариограммы показывает зависимость полудисперсии (половины среднего квадрата разности значений) изучаемого показателя от расстояния между точками опробования, в которых эти значения измерены. Каждая красная точка в облаке вариограммы представляет пару местоположений. Всевозможные пары точек могут быть рассортированы по классам в соответствии с разностью их координат, называемой лагом. В общем случае предполагается, что объекты, расположенные близко друг к другу, более схожи. На графике вариограммы ближайшим местоположениям (в крайней левой области по оси x) должны соответствовать невысокие значения вариограммы (низкие значения по оси y). По мере увеличения расстояния между парами местоположений (вправо по оси x) значения вариограммы должны также расти (вверх по оси y). Однако по достижении определенного расстояния облако перестает меняться. Это показывает, что значения в парах точек, расположенных друг от друга дальше этого расстояния, больше не коррелированы.

Большое влияние на эмпирическую вариограмму имеет выбор размера лага (h). На практике для определения h рекомендуется умножить размер лага на число лагов. Полученное значение должно составлять примерно половину самого большого расстояния между любыми точками. Другим способом определения размера лага является определение среднего расстояния между точками и их ближайшими соседями, для чего может быть использован инструмент *Среднее расстояние до ближайших соседей*.

Шаг 9. Откройте окно *ArcToolbox*, зайдите в набор инструментов *Пространственная статистика → Анализ структурных закономерностей*. Выберите инструмент *Среднее ближайшее соседство*.

В диалоговом окне инструмента необходимо задать только *Входной класс пространственных объектов* – Soil_sampling. Метод определения расстояния устанавливается автоматически (EUCLIDEAN_DISTANCE) (рис. 7.16).

Результаты работы инструмента отображаются в окне *Результаты* (*Геообработка → Результаты*). Значение NNObserved – это среднее расстояние между ближайшими соседями (рис. 7.17). Используйте полученное значение (1588 м) в качестве размера лага для модели вариограммы, построенной по данным содержания железа в точках опробования.

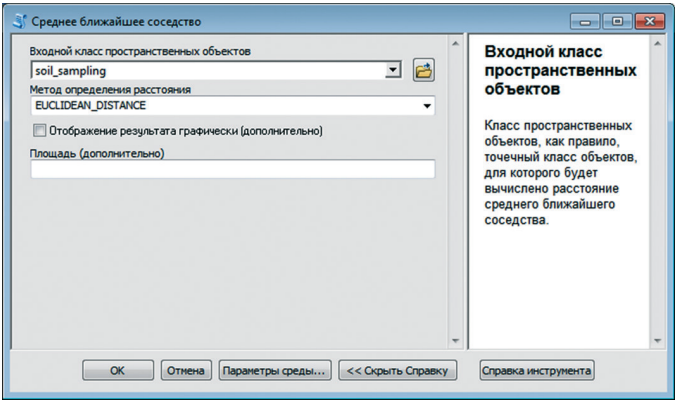


Рис. 7.16

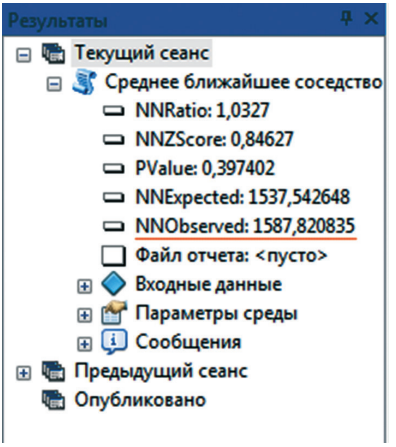


Рис. 7.17

Шаг 10. В диалоговом окне *Облако вариограммы/ковариации* значение размера лага измените на 1588, число лагов – на 15.

Измените размер диалогового окна *Облако вариограммы/ковариации* и переместите его, чтобы была видна карта, как показано ниже. Щелкните по кнопке *Выбрать объекты прямоугольником* на панели *Инструменты*, затем, нажав левую кнопку мыши, протащите курсор по нескольким точкам с большими значениями вариограммы (по оси *y*) в диалоговом окне *Облако вариограммы/ковариации*, чтобы их выбрать (рис. 7.18).

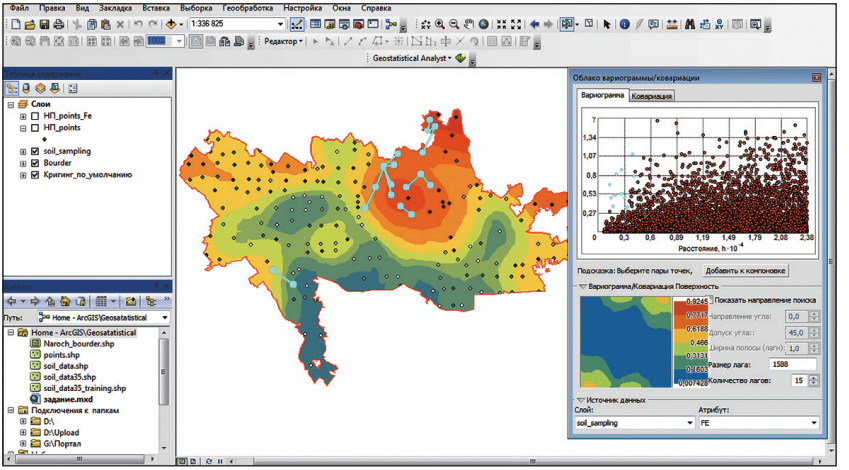


Рис. 7.18

Выбранные на вариограмме пары точек выборки будут выделены на карте и попарно соединены линиями. Как можно ожидать, линии с высокими значениями вариограммы для определенного расстояния между точками в паре – это линии, соответствующие максимальному градиенту значений концентрации железа. На рис. 7.19 показаны пары с типичными значениями вариограммы, где расстояния между парами точек примерно одинаковы.

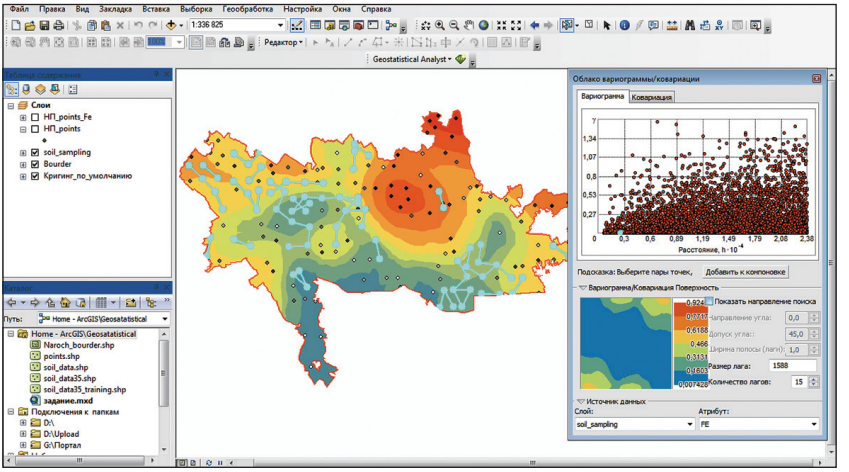


Рис. 7.19

Шаг 11. В разделе *Вариограмма/Ковариация Поверхность* диалогового окна *Облако вариограммы/ковариации* установите флажок *Показать направление поиска*.

Щелкните по указателю направления и переместите его на любой угол (рис. 7.20).

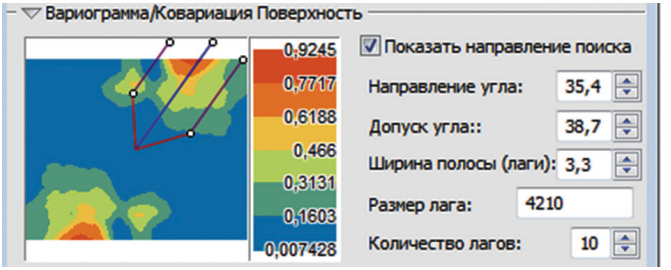


Рис. 7.20

Направление по указателю определяет, какие пары местоположений данных будут нанесены на вариограмму. Например, если указатель ориентирован в направлении восток – запад, на вариограмму будут нанесены только пары точек данных, расположенных к востоку или западу друг от друга. Построение вариограмм в различных направлениях позволяет определить анизотропию, т. е. неоднородность свойств по разным направлениям. Проанализируйте, влияет ли направление на поведение вариограммы.

Шаг 12. Закройте диалоговое окно *Облако вариограммы/ковариации*. На панели *Инструменты* щелкните по кнопке *Очистить выбранные объекты*.

Таким образом, в результате анализа данных было установлено, что распределение данных по содержанию железа является одновершинным, но не согласуется с нормальным законом распределения. Следовательно, может потребоваться преобразование данных. С помощью инструмента *Анализ тренда* было установлено, что в данных присутствует пространственный тренд, который лучше всего выражается полиномом первого порядка. Поверхность вариограммы свидетельствует о пространственной автокорреляции в данных. Анизотропии, или неоднородности, исследуемого показателя в зависимости от направления выявлено не было.

Создание интерполяционной поверхности методом ординарного кригинга, проверка ее качества

Вновь воспользуйтесь методом интерполяции ординарного кригинга, но на этот раз с учетом в интерполяционной модели тренда и выполнения логарифмического преобразования данных.

Шаг 13. На панели инструментов *Geostatistical Analyst* щелкните по стрелке *Geostatistical Analyst* и в ниспадающем меню выберите *Мастер операций геостатистики*. В диалоговом окне *Мастер операции геостатистики* в списке *Методы* укажите «Кригинг/Кокригинг». Исходным набором данных будет являться Soil_sampling, для *Поле даты* выберите Fe. Нажмите *Далее*.

В диалоговом окне в разделе *Тип кригинга* выберите «Ординарный кригинг». В раскрывающемся списке *Тип преобразования* установите Log, в списке *Порядок удаления тренда* – «Первый» (рис. 7.21). Нажмите *Далее*.

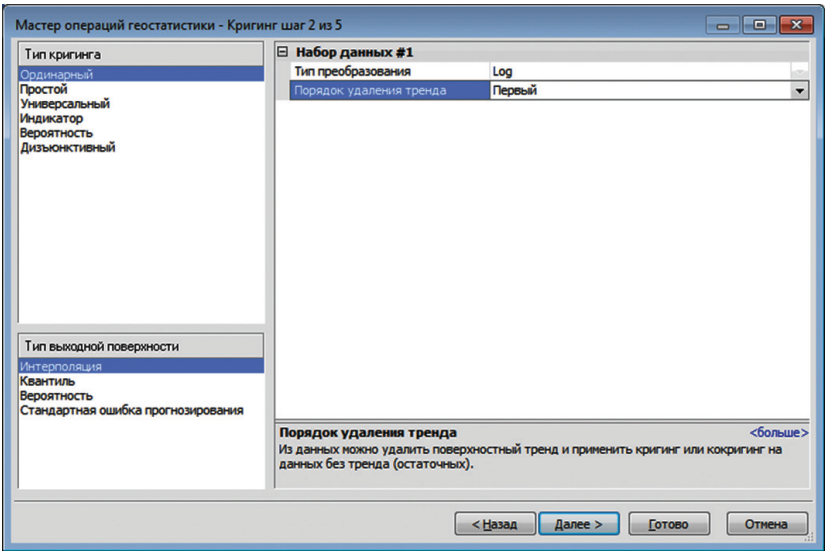


Рис. 7.21

В разделе *Общие свойства* значение параметра *Исследовательский анализ поверхности тренда* измените на 5 и нажмите *Далее* (рис. 7.22).

В следующем шаге в окне *Моделирование вариограммы/ковариации* в разделе *Модель#1* параметр *Тип* измените на «Экспоненциальная». *Размер лага* установите 1452,952 (рис. 7.23). Далее оптимизируйте модель с учетом измененных параметров, для чего щелкните по кнопке *Оптимизировать модель*. В появившемся окне *Оптимизировать вариограмму* нажмите *OK* для вычисления новых значений параметров модели. Ряд параметров будет пересчитан.

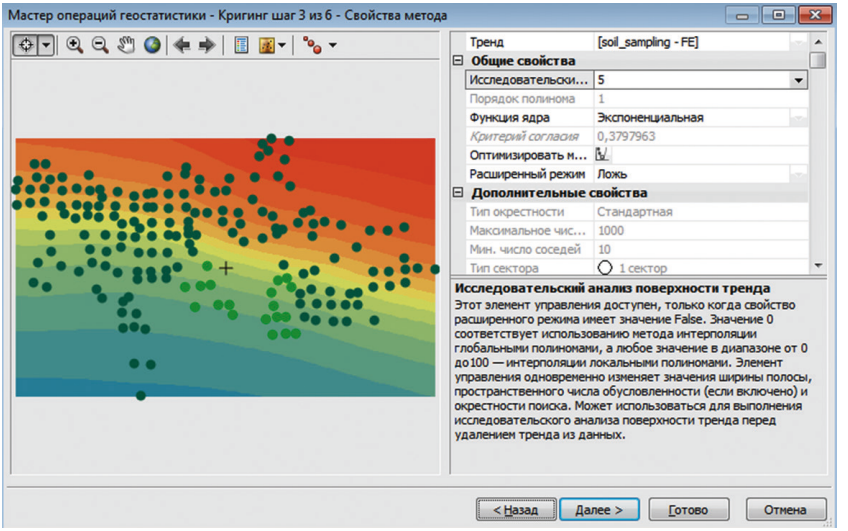


Рис. 7.22

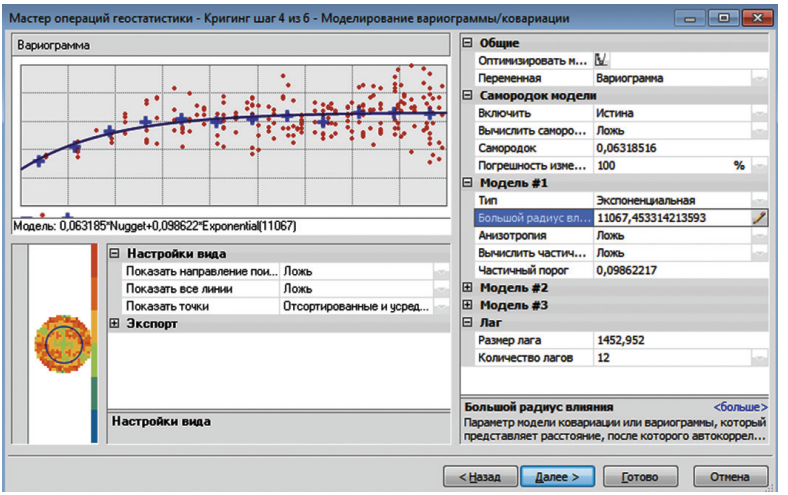
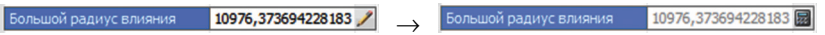


Рис. 7.23

Если в окне *Вариограмма* не отображается график, нажмите на кнопку, переключающую режим редактирования большого радиуса влияния.



В окне *Моделирование вариограммы/ковариации* нажмите *Далее*. На следующем шаге «Окрестность поиска» все параметры оставьте установленными по умолчанию. Общепринятой практикой является ограничение используемых данных окрестностью в форме окружности или эллипса. Помимо этого, во избежание смещения в конкретном направлении окружность (эллипс) делится на сектора, из которых выбирается одинаковое количество точек (рис. 7.24).

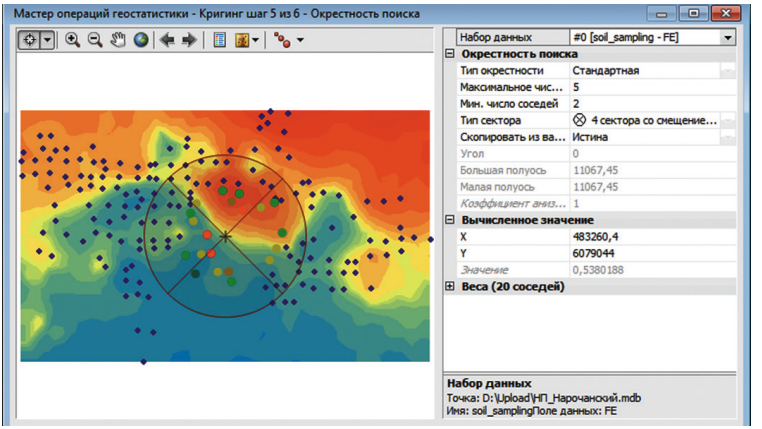


Рис. 7.24

Щелкните по кнопке *Далее*. Появится диалоговое окно *Перекрестная проверка* (рис. 7.25).

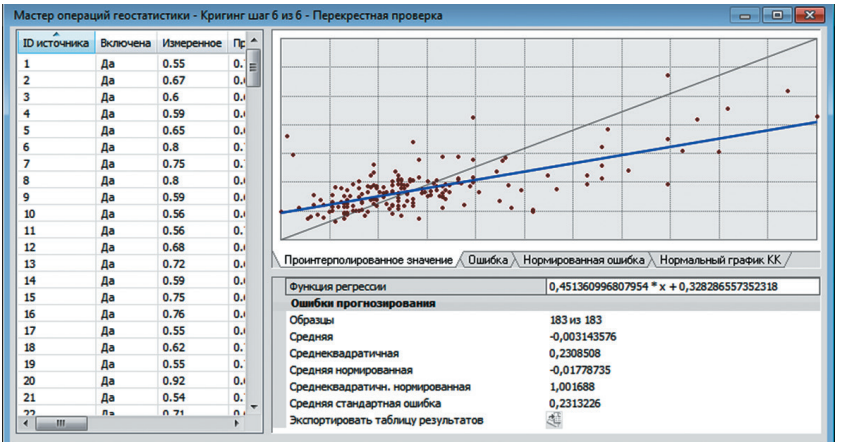


Рис. 7.25

Целью перекрестной проверки является принятие обоснованного решения по поводу того, какая модель обеспечивает самую точную интерполяцию. Перекрестная проверка последовательно пропускает точки в наборе данных и интерполирует значение для местоположения точки с помощью оставшихся данных. Затем сравнивает измеренное и проинтерполированное значение (разница между этими значениями называется ошибкой интерполяции). Следующие статистические величины, рассчитанные по ошибкам интерполяции, используются для оценки точности модели:

- средняя ошибка интерполяции (составляет 0,003143576) близка к нулю, что указывает на объективность прогнозов;
- среднеквадратическая нормированная погрешность интерполяции (составляет 1,001688) близка к 1, что указывает на точность стандартных ошибок;
- среднеквадратическая ошибка интерполяции (составляет 0,2308508) и средняя стандартная ошибка (0,2313226) малы настолько, насколько это возможно, что указывает на то, что проинтерполированные значения несильно отклоняются от измеренных значений.

В диалоговом окне *Перекрестная проверка* также можно отобразить графики, демонстрирующие ошибку, нормированную ошибку и график КК для каждой точки данных.

Шаг 14. Щелкните по кнопке *Готово*. В диалоговом окне *Отчет метода* представляются итоговые сводные данные о модели, которая будет использована для создания интерполяционной поверхности (рис. 7.26).

⊟ **Метод**	**Кригинг**
Тип	Ординарный
Выходной тип	Интерполяция
⊟ **Набор данных #**	1
Тип тренда	Первый
⊟ **Преобразование**	Логарифмическое
⊟ **Удаление тренда**	Интерполяция по методу локальных полиномов
Степень	1
Ширина полосы	46,034.39023833464
Функции ядра	Экспоненциальная
Выходной тип	Интерполяция
Порог пространственного числа обусловленности	30
Анализ тренда поверхности	5
⊟ **Окрестность поиска**	Стандартная
Соседи для включения	1,000
Учитывать по меньшей мере	10
Тип сектора	Полное
Большая полуось	57,542.98779791831
Малая полуось	57,542.98779791831
Угол	0
⊟ **Окрестность поиска**	Стандартная
Соседи для включения	5
Учитывать по меньшей мере	2

Рис. 7.26

Нажмите *OK*. Карта проинтерполированных значений содержания железа в поверхностном слое почв национального парка «Нарочанский» появится в качестве верхнего слоя в таблице содержания текущего проекта ArcMap. По умолчанию слой берет имя метода интерполяции, который использовался для создания поверхности, например «Кригинг».

Шаг 15. Измените имя слоя «Кригинг» на «Тренд».

Шаг 16. Для расширения поверхности проинтерполированных значений с целью охватить всю исследуемую территорию в контекстном меню слоя «Тренд» вызовите *Свойства* и перейдите на вкладку *Экстент*. В поле *Установить экстент* выберите «Прямоугольный экстент Border» и щелкните *OK*.

Шаг 17. В таблице содержания переместите слой Soil_sampling в верхнюю часть таблицы содержания так, чтобы видеть точки на поверхности проинтерполированных значений.

Шаг 18. Щелкните правой кнопкой мыши по слою «Тренд» и в контекстном меню выберите *Изменить выходные данные на Стандартная ошибка прогнозирования* (см. рис. 7.27).

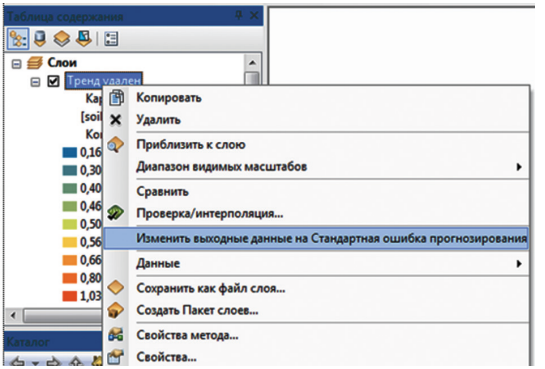


Рис. 7.27

Стандартная ошибка интерполяции – это стандартное отклонение от вычисленного значения в каждом местоположении. Стандартная ошибка позволяет охарактеризовать неопределенность полученной оценки данных при помощи доверительных интервалов. Так, 68 % (примерно две трети) истинных значений укладываются в одну стандартную ошибку вычисленного значения, 95 % – в две, а 99,7 % – в три стандартные ошибки.

Шаг 19. Чтобы вернуться к карте проинтерполированных значений концентрации железа, щелкните правой кнопкой мыши по созданному слою «Тренд» и выберите *Изменить выходные данные на Интерполяция* (рис. 7.28).

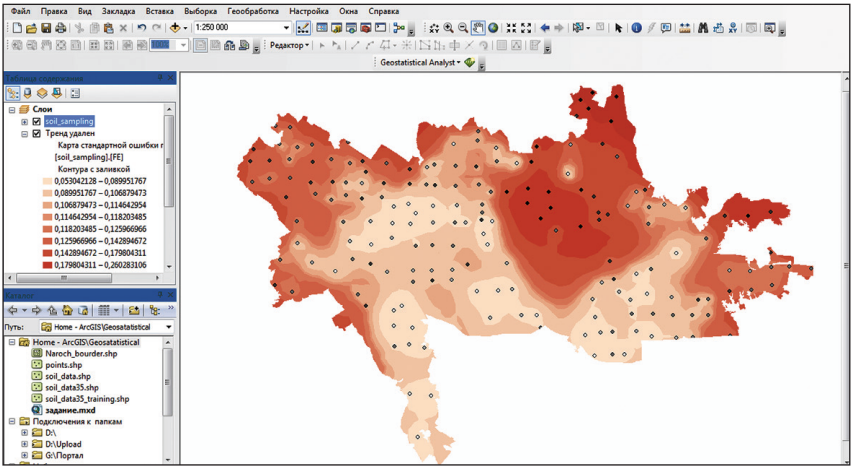


Рис. 7.28

Шаг 20. Сохраните текущий геоинформационный проект.

Сравнение интерполяционных моделей

Шаг 21. Сравним слои «Тренд» и «Кригинг по умолчанию». Щелкните правой кнопкой мыши по слою «Тренд» и выберите *Сравнить* (рис. 7.29).

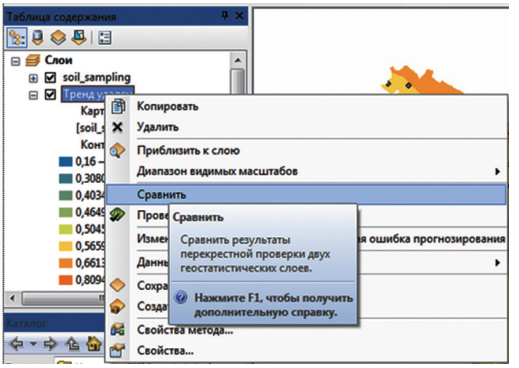


Рис. 7.29

Откроется диалоговое окно *Сравнение результатов перекрестной проверки* и будет выполнено автоматическое сравнение интерполяционной модели «Тренд» с моделью «Кригинг по умолчанию» (рис. 7.30).

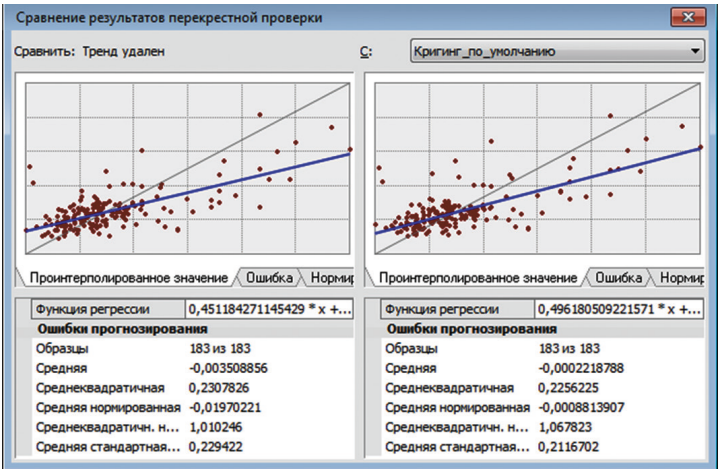


Рис. 7.30

Сравните статистические данные перекрестной проверки обеих моделей.

Выберите лучшую модель, приняв во внимание следующие моменты:

• прогнозы должны быть несмещенными, со средним значением ошибки прогноза, близким к 0;

• среднеквадратическая нормированная погрешность прогнозирования должна быть близка к 1, что указывает на точность стандартных погрешностей.

Кроме того, можно использовать закладки *Проинтерполированное значение*, *Ошибка*, *Нормированная ошибка* и *Нормальный график КК* для графического отображения эффективности каждой модели.

Рекомендуемый ввод заключается в том, что анализ статистических параметров моделей не позволяет сделать однозначное заключение в пользу одной из них, однако для модели «Тренд» показатель среднеквадратической нормированной погрешности несколько ниже и практически равен 1. Среднеквадратичная ошибка интерполяции для этой модели так же ближе к средней оцененной стандартной ошибке, что позволяет охарактеризовать ее как более достоверную.

На основании этого удалите из таблицы содержания проекта слой «Кригинг по умолчанию».

Создание карты вероятности

Вероятностное картографирование дает возможность оценить уровень риска по превышению заданного уровня значения пространственной переменной. В рамках геостатистики для вероятностного картографирования используются нелинейные модели кригинга, в частности индикаторный кригинг.

Шаг 22. В ниспадающем меню *Geostatistical Analyst* выберите *Мастер операций геостатистики*. В открывшемся окне щелкните по *Кригинг/кокригинг* в списке *Методы*. В качестве входных данных укажите слой Soil_sampling, для поле даты выберите Fe. Щелкните *Далее*.

Шаг 23. На следующем шаге в списке *Тип кригинга* выберите *Индикатор*. Обратите внимание, что *Вероятность* выбрана в качестве типа выходной поверхности. В поле *Пороговое значение* выберите *Превышено*, а затем установите для параметра *Пороговое значение* 1,0 (рис. 7.31). Щелкните *Далее*.

Шаг 24. В окне *Моделирование вариограммы/ковариации* измените значение в поле *Размер лага* на 2500. Далее нажмите кнопку *Оптимизировать модель* для вычисления новых значений параметров модели. Затем щелкните по иконке с изображением карандаша рядом с окошком, использующимся для ввода значения большого радиуса влияния. Значение радиуса автоматически изменится (рис. 7.32).

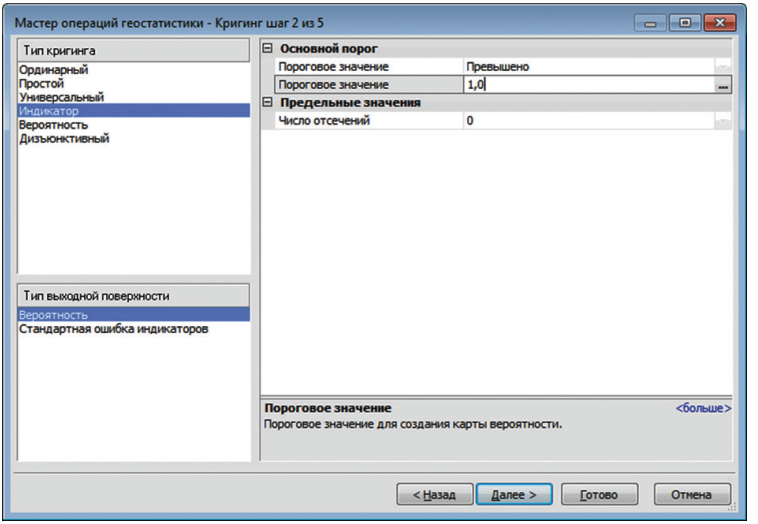


Рис. 7.31

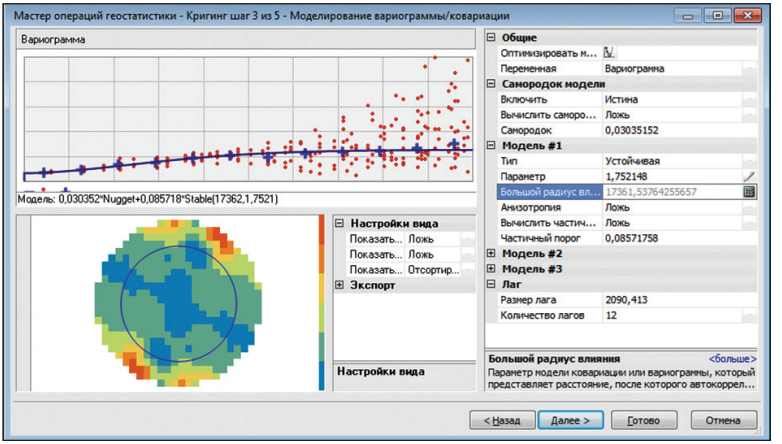


Рис. 7.32

Шаг 25. В диалоговом окне *Окрестность поиска* оставьте параметры, установленные по умолчанию, после этого щелкните *Далее*.

Синяя линия на рис. 7.33 отображает пороговое значение (1,0 %). Точки слева от синей линии имеют индикаторное значение 0, полученное в результате преобразования, а точки справа от линии – индикаторное значение 1.

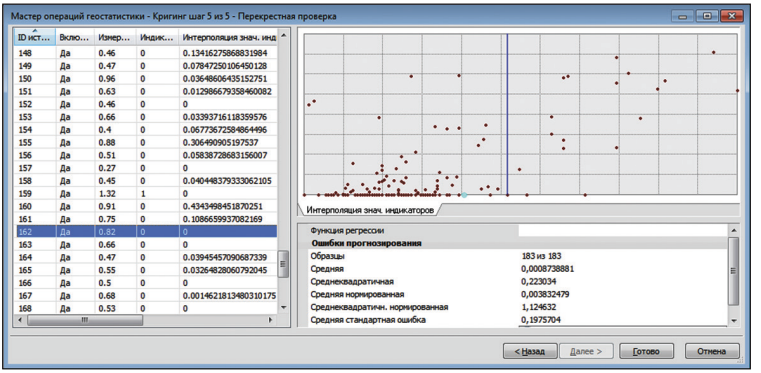


Рис. 7.33

Щелкните по строке в таблице с индикаторным значением 0. Выбранная точка будет отображаться цветом на диаграмме слева от линии порогового значения. Проинтерполированное значение будет в точности совпадать с индикаторным значением.

Столбцы «Измеренное» и «Индикатор» отображают фактические и преобразованные значения для каждого опорного местоположения. Индикаторные значения интерполяции (столбец «Интерполяция знач. индикаторов») могут истолковываться как вероятность превышения порога. Такие значения рассчитываются с помощью вариограммы, смоделированной из двоичных данных (0, 1), которые получены на основании индикаторного преобразования исходных данных. Перекрестная проверка последовательно исключает точку и рассчитывает индикаторные значения интерполяции для каждой. Например, наибольшее измеренное значение равно 1,95. Если это местоположение не было фактически измерено, то модель индикаторного кригинга демонстрирует приблизительно 65 % вероятность того, что значение содержания железа в этом положении было выше порога 1 %.

Последовательно щелкните по кнопке *Готово* в диалоговом окне *Перекрестная проверка* и *OK* в диалоговом окне *Отчет метода*.

Карта вероятности концентрации железа в поверхностном слое почв национального парка «Нарочанский» появится в качестве верхнего слоя в текущем проекте ArcMap. На карте отображаются индикаторные значения интерполяции, рассматриваемые как вероятность превышения порогового значения 1 % (рис. 7.34).

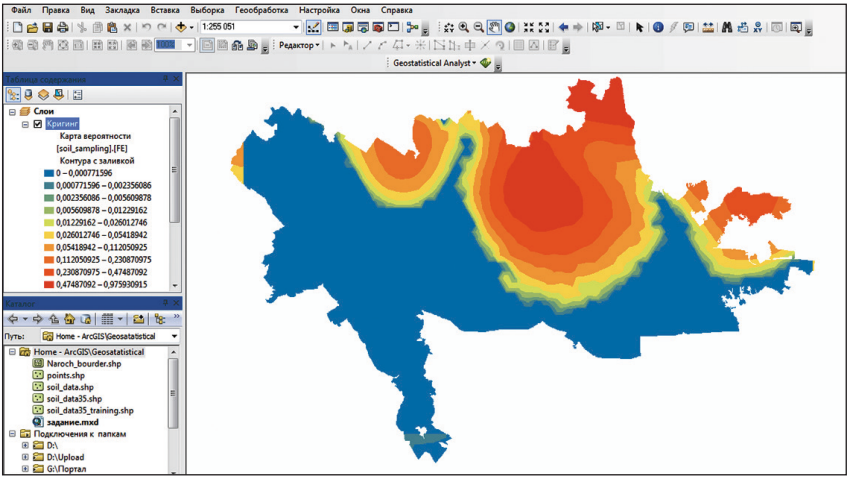


Рис. 7.34

Шаг 26. Измените имя слоя вероятности на «Индикаторный кригинг». Перетащите слой «Индикаторный кригинг» в положение в таблице содержания между слоями Soil_sampling и «Тренд».

Шаг 27. Щелкните правой кнопкой мыши по слою «Индикаторный кригинг» и выберите *Свойства*. На вкладке *Экстент* для опции *Установить экстент равным* выберите «Прямоугольный экстент Border». Нажмите кнопку *Применить*.

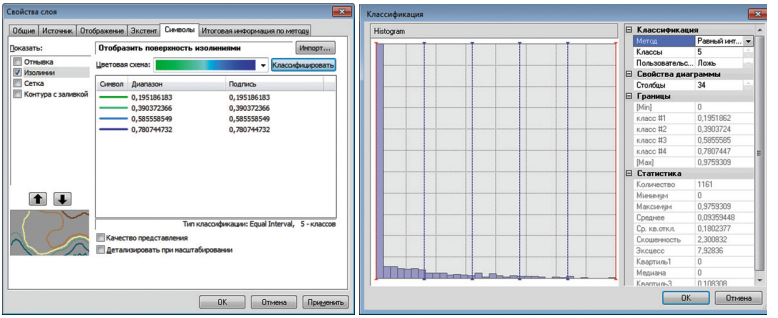


Рис. 7.35

Шаг 28. Выберите закладку *Символы*. В окне *Показать* отключите опцию *Контур с заливкой* и включите опцию *Изолинии*. Щелкните по меню *Изолинии* – появится символ изолиний. Выберите для них цветовую схему от зеленого к синему. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В диалоговом окне *Классификация* измените параметр *Метод* на *Равный интервал*, *Число классов* установите равным 5 (рис. 7.35). Нажмите *OK*.

Теперь поверх проинтерполяционной поверхности концентраций железа отображаются изолинии, отражающие области высокой вероятности превышения порога в 1 % (рис. 7.36).

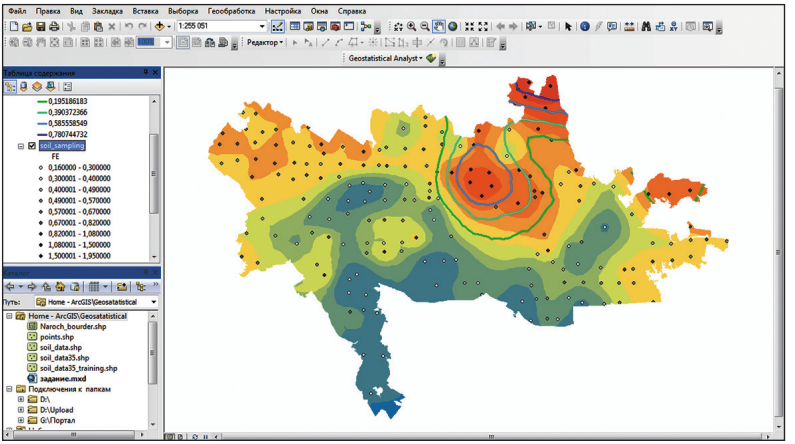


Рис. 7.36

7.4. Самостоятельное задание

На примере содержания свинца в поверхностном горизонте почв национального парка «Нарочанский» (атрибутивное поле Pb класса пространственных объектов Soil_sampling БГД «НП_Нарочанский») проведите исследовательский анализ геоданных, подберите параметры и постройте интерполяционную поверхность методом геостатистики в виде ординарного кригинга. Постройте карту вероятности превышения порогового значения концентрации 32 мг/кг.

Контрольные вопросы

1. Приведите основную последовательность шагов при создании интерполяционной поверхности методом кригинга в среде ГИС ArcGIS.
2. Укажите инструменты исследовательского анализа, к которым обращаются при анализе данных и сборе информации.
3. Что такое вариограмма и для чего она применяется?
4. Назовите статистические показатели, применявшиеся для оценки точности интерполяционных геомоделей.
5. Какие типы кригинга реализованы в модуле Geostatistical Analyst ГИС ArcGIS?

Лабораторная работа 8

Геообработка пространственных данных с использованием геомоделей ModelBuilder

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

Исходные данные: БГД «Гидрологическое моделирование», использовавшаяся при выполнении лабораторной работы 6 «Растровый гидрологический ГИС-анализ», БГД «Геообработка», содержащая в себе классы пространственных объектов «Сетка_1000», «Сетка_пуща_1000», «Водоемы», «Водотоки», «Граница_НП»; набор растровых данных «ЦМР_пуща».

Ход работы

Шаг 1. Откройте ArcMap ГИС ArcGIS. Откройте проект «Гидрология», созданный при выполнении лабораторной работы 6. Для этого используйте опцию *Открыть* в меню *Файл*. Сохраните данный проект под названием «Геообработка». Для этого используйте опцию *Сохранить как...* в меню *Файл*. Проект сохраните в своей папке.

Шаг 2. Оставьте визуализированными только слои «Граница_участка», «Реки», «Водоемы», Fill_Topogrid. Добавьте в проект класс пространственных объектов из набора классов «Слои» БГД «Геообработка» «Сетка_1000», воспользовавшись пиктограммой *Добавить данные*.

Шаг 3. Выполните символизацию слоя «Сетка_1000». Для этого откройте окно *Свойства слоя* (клик правой кнопкой мыши по слою → *Свойства*). Выберите закладку *Символы* и установите для слоя функцию отображения *Пространственные объекты: Единый символ*. Клик по пиктограмме символа, выберите для него параметры: *Цвет заполнения* – нет, *Цвет контура* – черный, *Ширина контура* – 0,5 (рис. 8.1).

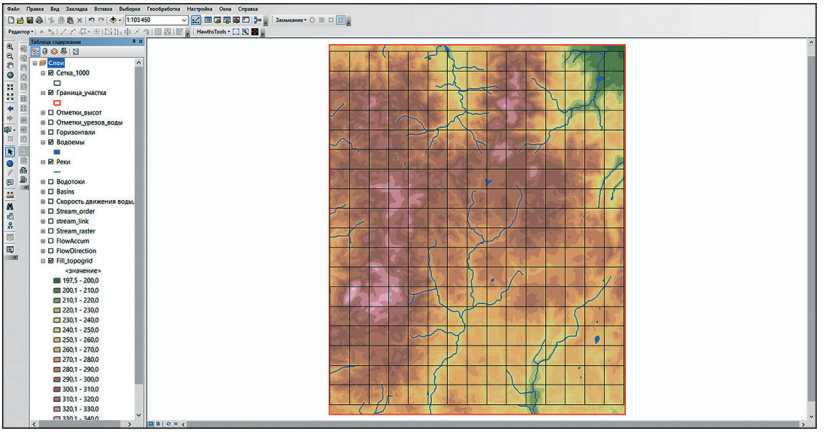


Рис. 8.1

Шаг 4. Основная задача настоящей лабораторной работы – разработать пользовательский инструмент геообработки в виде геомодели, который позволял бы автоматически рассчитывать морфометрический показатель глубины расчленения рельефа – разности минимальной и максимальной абсолютных высот в пределах единицы площади 1 км^2.

Геомодели создаются посредством соединения процессов геообработки в ModelBuilder. Для того чтобы открыть среду разработки геомоделей, нажмите пиктограмму *ModelBuilder* на панели инструментов *Стандартные* ArcMap. Откроется окно *ModelBuilder* для редактирования. В него можно добавлять процессы геоообработки.

Шаг 5. В ArcMap выберите из основного меню *Геообработка* → *Поиск инструментов*.

В открывшемся окне *Поиск* введите с клавиатуры «Зональная статистика», а затем нажмите кнопку *Поиск*. Инструмент *Зональная статистика* появится в списке среди прочих результатов поиска.

Перетащите найденный элемент *Зональная статистика* (инструмент *Зональная статистика* в наборе инструментов «Зональные» модуля Spatial Analyst) на свободное пространство окна *ModelBuilder* (рис. 8.2).

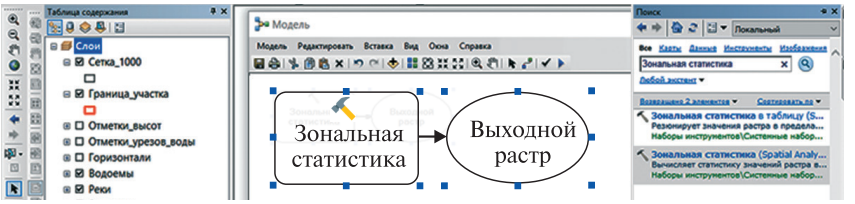


Рис. 8.2

Данная операция добавит инструмент и переменную выходных данных в геомодель. Выходная переменная будет связана с инструментом элементом соединения. И инструмент, и выходные данные будут пустыми (без цвета), поскольку ни один из параметров инструмента пока не определен.

Аналогичным образом перетащите в окно *ModelBuilder* еще один инструмент *Зональная статистика*.

Шаг 6. Произведите поиск и добавьте инструмент *Калькулятор растр* из набора инструментов *Spatial Analyst* → *Алгебра карт*.

Аналогично добавьте в геомодель инструменты *Объект в точку* из набора инструментов *Управление данными* → *Пространственные объекты*, *Извлечь значения в точки* из набора *Spatial Analyst* → *Извлечение*, *Сплайн* из набора *Spatial Analyst* → *Интерполяция*, *Извлечь по маске* из набора *Spatial Analyst* → *Извлечение* (рис. 8.3).

Шаг 7. Сохраните геомодель. Для этого щелкните по инструменту *Сохранить* на панели *ModelBuilder* и перейдите в свою папку.

Модель может быть сохранена только в наборе инструментов. Поэтому щелкните по инструменту *Новый набор инструментов* в окне навигации. Набор со стандартным именем Toolbox.tbx будет добавлен в рабочее пространство. Измените его имя на «Морфометрия.tbx».

Войдите в набор инструментов «Морфометрия.tbx» и сохраните в нем созданную модель под названием «Глубина расчленения», после этого щелкните *Сохранить*.

Шаг 8. Когда данные или инструменты добавлены в модель, их называют элементами модели. Существует три основных типа элементов модели – переменные (такие, как наборы данных), инструменты и соединители.

Теперь, когда все инструменты добавлены в модель и она сохранена, следует указать переменные – параметры инструментов.

В окне *ModelBuilder* дважды щелкните по инструменту *Зональная статистика*, чтобы открыть его диалоговое окно.

Для параметра *Входные растровые или векторные данные зон* определите слой фрейма данных «Сетка_1000», для параметра *Поле зоны* – атрибутивное поле *OBJECTID*. В качестве входного растра значений установите слой Fill_Topogrid, *Выходной растр* сохраните в БГД «Геообработка» под именем FillTopogridmax, *Тип статистики* задайте MAXIMUM. Нажмите *OK* (рис. 8.4).

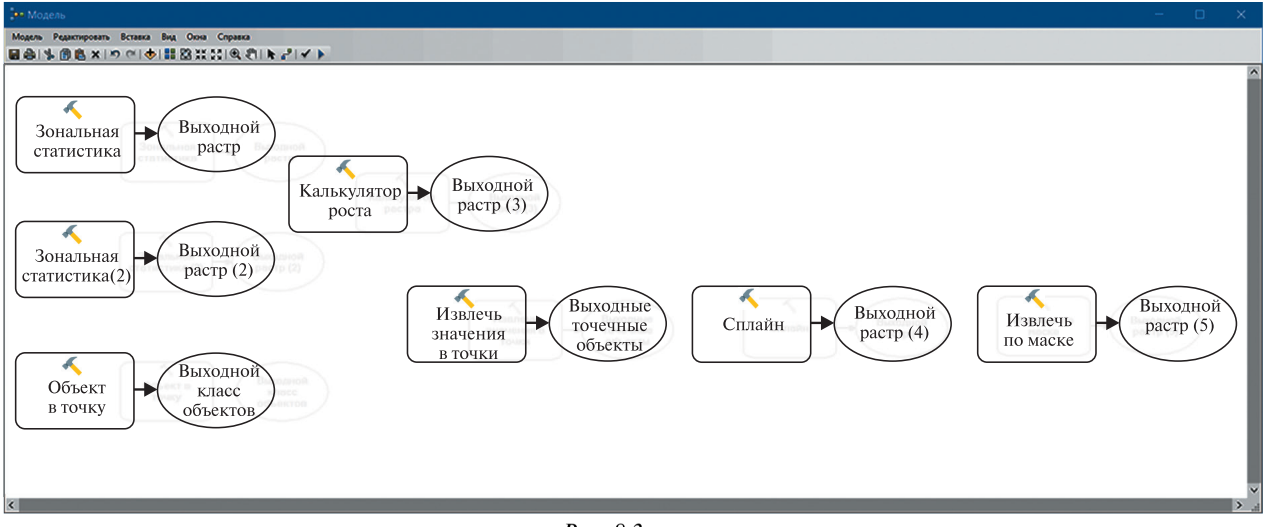

Модель
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Справка
Зональная статистика
Выходной растр
Калькулятор роста
Выходной растр (3)
Зональная статистика(2)
Выходной растр (2)
Извлечь значения в точки
Выходные точечные объекты
Сплайн
Выходной растр (4)
Извлечь по маске
Выходной растр (5)
Объект в точку
Выходной класс объектов

Рис. 8.3

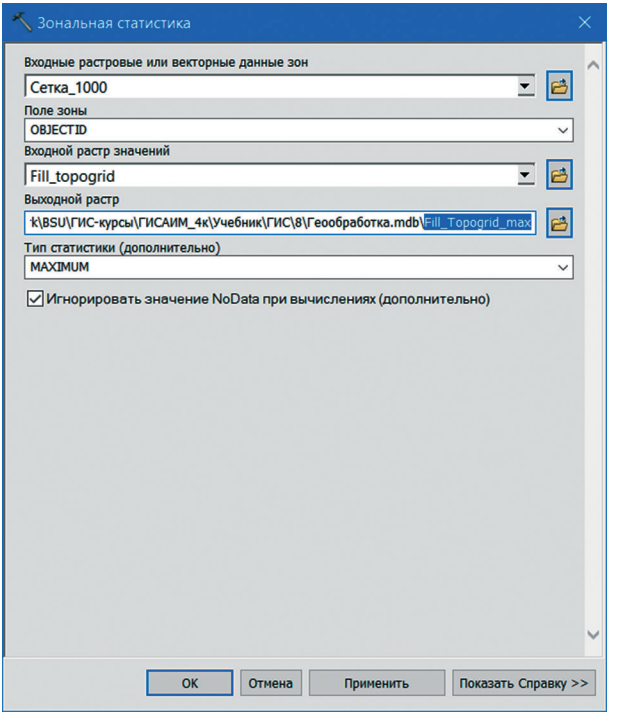


Рис. 8.4

Входные данные будут добавлены в качестве переменной в модель (голубой овал) и будут автоматически соединены с инструментом *Зональная статистика*. Входная переменная (голубой овал), инструмент (желтый прямоугольник) и выходная переменная (зеленый овал) изменили свои цвета, чтобы показать, что все необходимые параметры были определены и инструмент готов к запуску (рис. 8.5).

Шаг 9. Задайте переменные инструменту *Зональная статистика* (*2*). Для этого выберите кнопку *Подключить* на панели инструментов *ModelBuilder* и щелкните на элементе переменной «Сетка_1000». После этого подведите стрелку-соединитель к элементу инструмента *Зональная статистика* (*2*). В появившемся контекстном меню установите данную переменную как *Входные растровые или векторные данные зон*. Аналогично соедините переменную Fill_Topogrid с инструментом *Зональная статистика* (*2*), задав в качестве типа *Входной растр значений*.

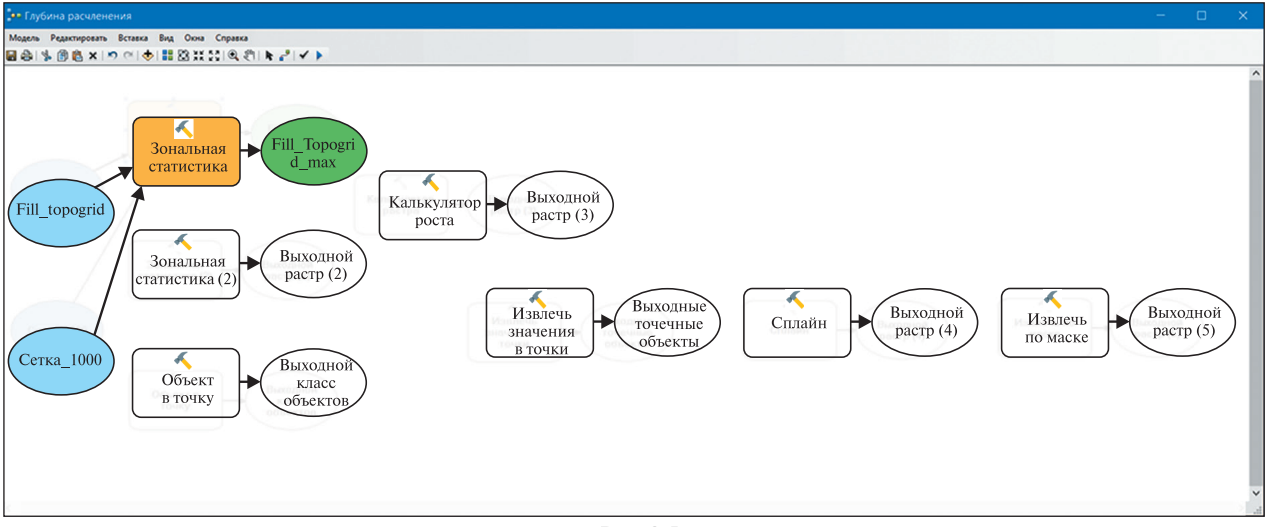

Глубина расчленения
Модель
Редактировать
Вставка
Вид
Окна
Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
Зональная статистика
Fill_Topogrid_max
Зональная статистика (2)
Выходной растр (2)
Объект в точку
Выходной класс объектов
Калькулятор роста
Выходной растр (3)
Извлечь значения в точки
Выходные точечные объекты
Сплайн
Выходной растр (4)
Извлечь по маске
Выходной растр (5)

Рис. 8.5

Переключитесь на инструмент *Выбрать* на панели инструментов *ModelBuilder*. В окне *ModelBuilder* дважды щелкните по инструменту *Зональная статистика* (*2*), чтобы открыть его диалоговое окно. Для параметра *Поле зоны* установите OBJECTID. *Выходной растр* сохраните в БГД «Геообработка» под именем FillTopogridmin, тип статистики – MINIMUM. Нажмите *OK*.

Переименуйте инструмент *Зональная статистика* в *Зональная статистика* (*max*), щелкнув по элементу правой кнопкой мыши и выбрав *Переименовать*. Аналогично переименуйте инструмент *Зональная статистика* (*2*) в *Зональная статистика* (*min*) (рис. 8.6).

Шаг 10. Задайте переменные инструменту Объект в точку. Выберите кнопку *Подключить* на панели инструментов *ModelBuilder* и щелкните на элементе переменной «Сетка_1000». После этого подведите стрелку-соединитель к элементу инструмента *Объект в точку*. В появившемся контекстное меню установите данную переменную как *Входные объекты*.

Переключитесь на инструмент *Выбрать* на панели инструментов *ModelBuilder*. В окне *ModelBuilder* дважды щелкните по инструменту *Объект в точку*. Выходной класс объектов сохраните в БГД «Геообработка» в наборе классов «Слои» под именем «Точки_сетка_1000». Нажмите *OK* (рис. 8.7).

Шаг 11. Дважды щелкните по инструменту *Калькулятор растра*, чтобы открыть его диалоговое окно.

В окне *Калькулятор растра* создайте *Выражение алгебры карт*, рассчитывающее разность между растрами FillTopogridmax и FillTopogridmin. Выходной растр сохраните в БГД «Геообработка» под именем «FillTopogridразность» (рис. 8.8). Нажмите *OK*.

Шаг 12. Установите переменные инструменту *Извлечь значения в точки*. Выберите кнопку *Подключить* и щелкните на элементе переменной «Точки_сетка_1000». После этого подведите стрелку-соединитель к элементу инструмента *Извлечь значения в точки*. В появившемся контекстном меню установите данную переменную как *Входные точечные объекты*. Аналогично соедините переменную «FillTopogridразность» с инструментом *Извлечь значения в точки*, задав в качестве типа *Входной растр*.

Переключитесь на инструмент *Выбрать* на панели *ModelBuilder*. В окне *ModelBuilder* дважды щелкните по инструменту *Извлечь значения в точки*. Выходные точечные объекты сохраните в БГД «Геообработка» в наборе классов «Слои» под именем «Точки_со_значениями_сетка_1000». Нажмите *OK* (рис. 8.9).

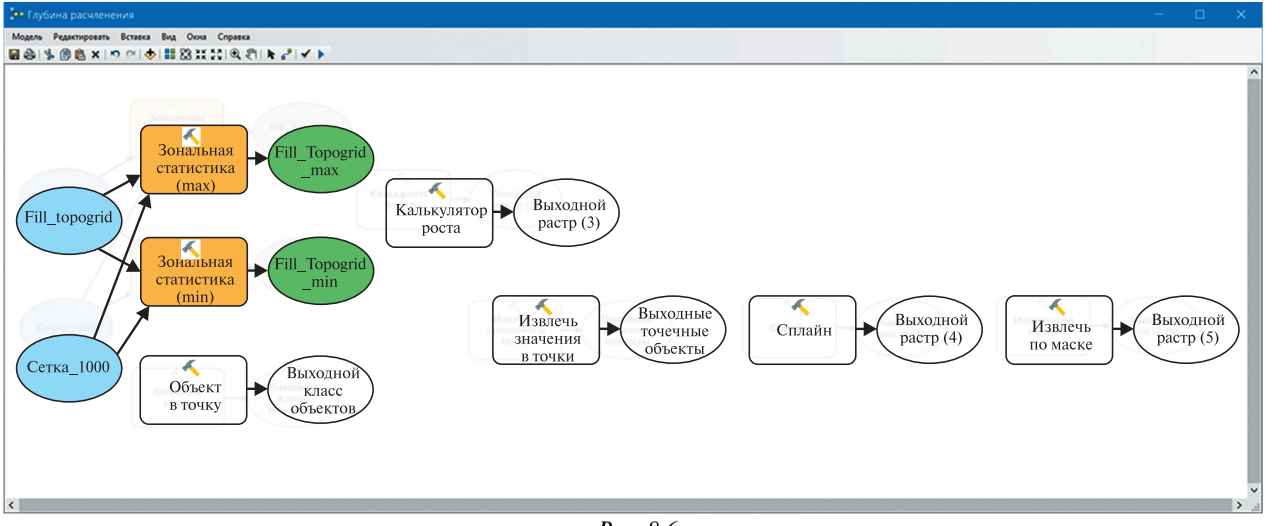

Глубина расчленения
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
Зональная статистика (max)
Зональная статистика (min)
Объект в точку
Fill_Topogrid _max
Fill_Topogrid _min
Выходной класс объектов
Калькулятор роста
Выходной растр (3)
Извлечь значения в точки
Выходные точечные объекты
Сплайн
Выходной растр (4)
Извлечь по маске
Выходной растр (5)

Рис. 8.6

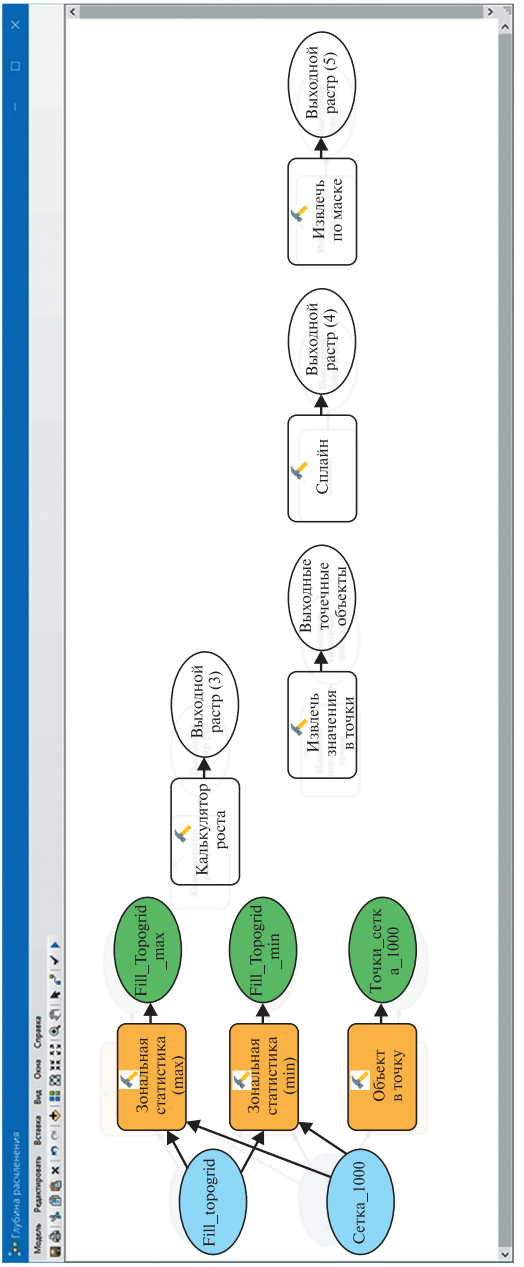

Глубина расчленения
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
Зональная статистика (max)
Зональная статистика (min)
Объект в точку
Fill_Topogrid_max
Fill_Topogrid_min
Точки_сетка_1000
Калькулятор роста
Выходной растр (3)
Извлечь значения в точки
Выходные точечные объекты
Сплайн
Выходной растр (4)
Извлечь по маске
Выходной растр (5)

Рис. 8.7

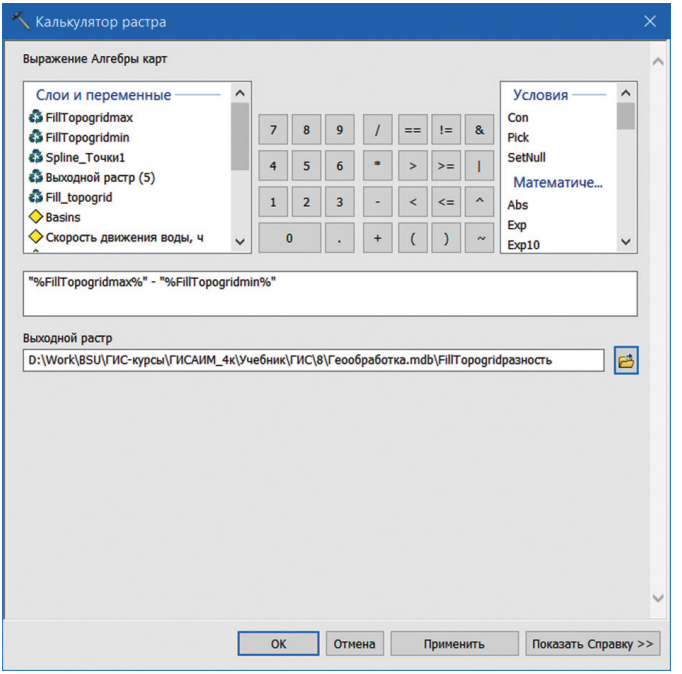


Рис. 8.8

Шаг 13. Щелкните правой кнопкой мыши по переменной «Точки_со_значениями_сетка_1000» и выберите *Добавить к карте*. Произведите предварительный запуск модели, нажав кнопку *Запустить* на панели *ModelBuilder*.

Модель будет запущена, и промежуточные выходные данные (Точки_со_значениями_сетка_1000) будут добавлены на карту. После того как модель закончит работу, и у инструментов (желтые прямоугольники), и у выходных переменных (зеленые овалы) вокруг появится тень – это будет означать, что инструменты были запущены и произвели работу.

Познакомьтесь с таблицей атрибутов слоя «Точки_со_значениями_сетка_1000». В поле *RASTERVALU* для центральной точки каждого квадрата площадью 1 км^2 записано значение глубины расчленения (рис. 8.10).

Дважды щелкните по инструменту *Сплайн*, чтобы открыть его диалоговое окно.

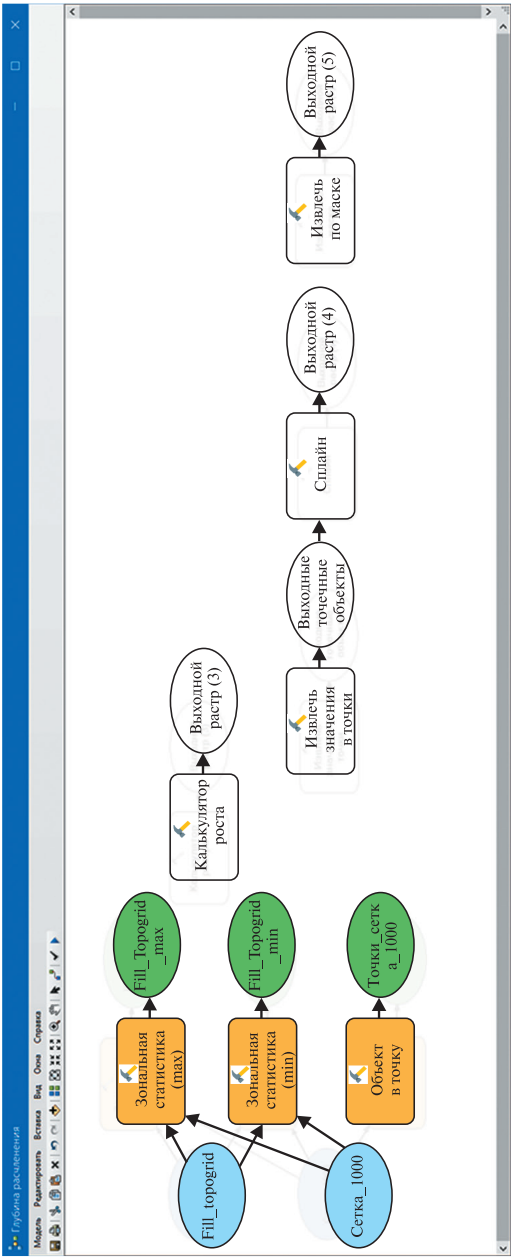
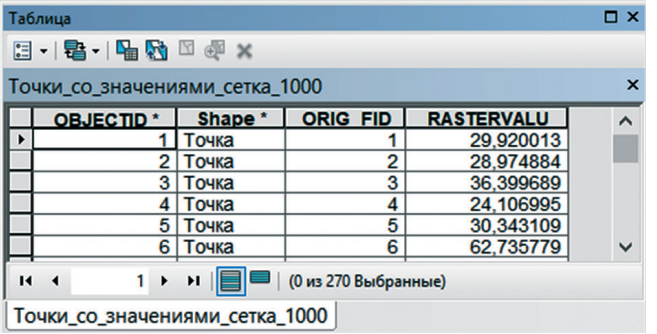

Глубина расчленения
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
Зональная статистика (max)
Зональная статистика (min)
Объект в точку
Fill_Topogrid_max
Fill_Topogrid_min
Точки_сетка_1000
Калькулятор роста
Выходной растр (3)
Извлечь значения в точки
Выходные точечные объекты
Сплайн
Выходной растр (4)
Извлечь по маске
Выходной растр (5)

Рис. 8.9



Таблица

Точки_со_значениями_сетка_1000

OBJECTID *	Shape *	ORIG_FID	RASTERVALU
1	Точка	1	29,920013
2	Точка	2	28,974884
3	Точка	3	36,399689
4	Точка	4	24,106995
5	Точка	5	30,343109
6	Точка	6	62,735779

1 (0 из 270 Выбранные)

Точки_со_значениями_сетка_1000

Рис. 8.10

Для параметра *Входные точечные объекты* определите слой «Точки_со_значениями_сетка_1000», параметра *Поле значений Z* – атрибутивное поле *RASTERVALU*. *Выходной растр* сохраните в БГД «Геообработка» под именем «Растр_интерполяции», размер выходной ячейки задайте равным 25, тип сплайна выберите TENSION (Натяжение). Нажмите *OK*.

Щелкните правой кнопкой мыши по инструменту *Сплайн* и выберите *Свойства*. В окне *Сплайн/Свойства* выберите закладку *Параметры среды*. Найдите в списке рубрику *Экстент обработки* и разверните параметры выбора. Установите вариант *Экстент* и нажмите кнопку *Значения...* В диалоговом окне *Параметры среды* задайте экстент «Как у слоя «Граница_участка» (рис. 8.11).

Шаг 14. Установите переменные инструменту *Извлечь по маске*. Выберите кнопку *Подключить* и щелкните на элементе переменной *Растр_интерполяции*. После этого подведите стрелку-соединитель к элементу инструмента *Извлечь по маске*. В появившемся контекстном меню установите данную переменную как *Входной растр*.

Переключитесь на инструмент *Выбрать* на панели *ModelBuilder*. В окне *ModelBuilder* дважды щелкните по инструменту *Извлечь по маске*. В качестве векторных или растровых данных маски выберите слой фрейма данных «Граница_участка». Выходной растр сохраните в БГД «Геообработка» под именем «Глубина расчленения». Нажмите *OK* (рис. 8.12).

Шаг 15. Выполните проверку геомодели, нажав кнопку *Проверить всю модель* на панели инструментов *ModelBuilder*. Если ошибок не обнаружено, щелкните правой кнопкой мыши по переменной *Глубина расчленения* и выберите *Добавить к карте*. Произведите запуск модели, нажав кнопку *Запустить* на панели *ModelBuilder*.

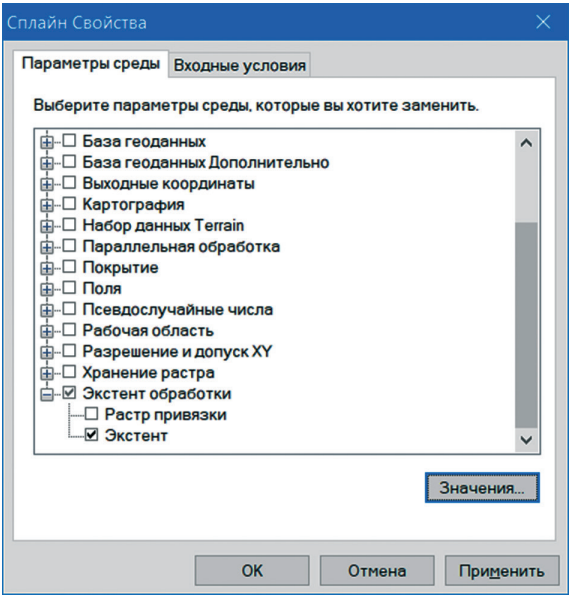


Рис. 8.11

После успешного выполнения всех стадий геообработки во фрейм данных будет добавлена модель вертикального расчленения территории.

Сохраните геомодель. Для этого щелкните по инструменту *Сохранить* на панели *ModelBuilder*. Закройте геомодель.

Шаг 16. Зайдите в свойства слоя «Глубина расчленения» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*). На вкладке *Символы* выберите *Показать: Классификация*. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В окне *Классификация* выберите метод – *Заданный интервал* и *Интервал* – 10 м/км^2. Выберите для грид-модели цветовую схему, сочетающую в себе оттенки желтого, оранжевого и коричневого (рис. 8.13).

Шаг 17. Далее следует доработать созданную геомодель и протестировать ее выполнение на территории национального парка «Беловежская пуща». Для этого добавьте в проект следующие классы пространственных объектов из набора классов «Слои» БГД «Геообработка»: «Сетка_пуща_1000», «Водоемы», «Водотоки», «Граница_НП», а также набор растровых данных «ЦМР_пуща». Приблизьте экстент фрейма данных до слоя «Граница_НП». Символизируйте добавленные слои, как на рис. 8.14.

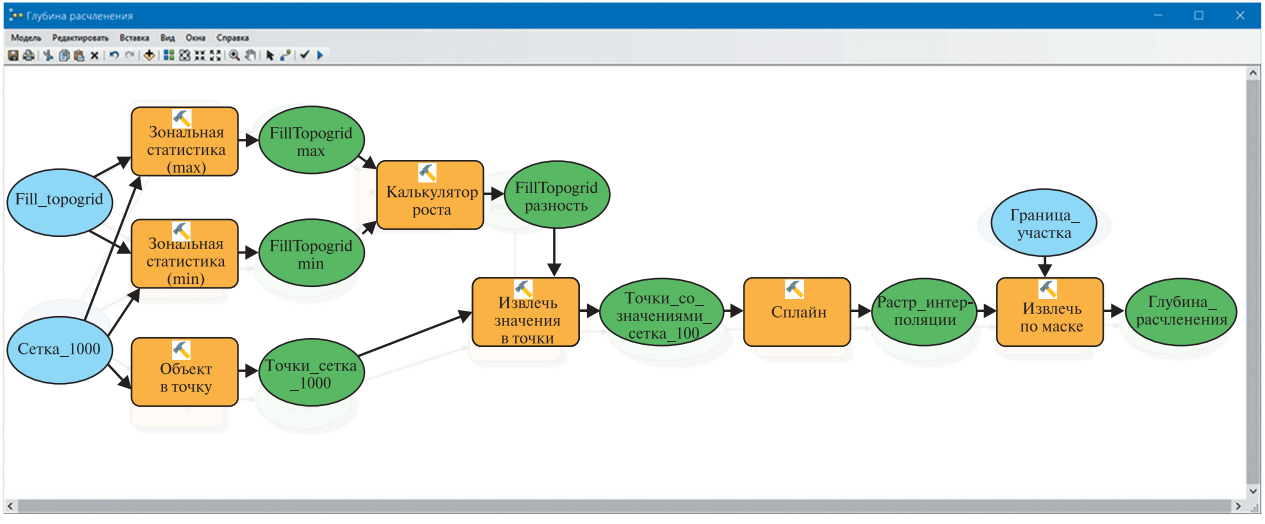

Глубина расчленения
Модель
Редактировать
Вставка
Вид
Окна
Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
Зональная статистика (max)
Зональная статистика (min)
Объект в точку
FillTopogrid max
FillTopogrid min
Точки_сетка _1000
Калькулятор роста
FillTopogrid разность
Извлечь значения в точки
Точки_со_ значениями_ сетка_100
Сплайн
Растр_интер-поляции
Граница_ участка
Извлечь по маске
Глубина_ расчленения

Рис. 8.12

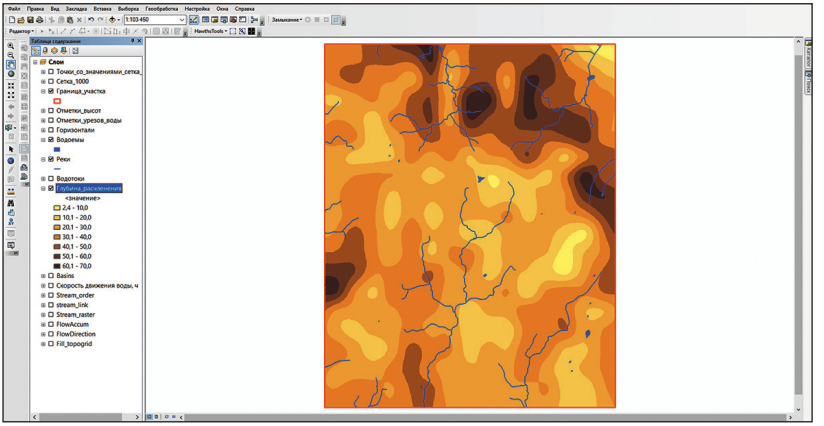


Рис. 8.13

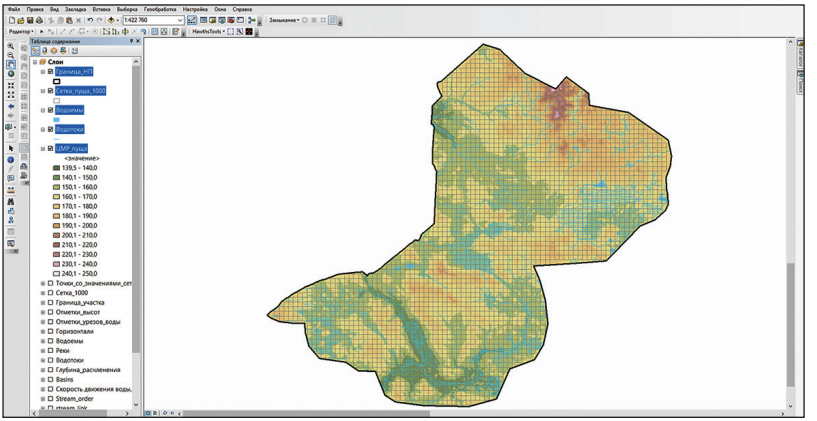


Рис. 8.14

Шаг 18. Откройте *Каталог* на панели инструментов ArcMap *Стандартные*. В своей папке найдите набор инструментов «Морфометрия» и внутри него созданную геомодель «Глубина расчленения». Щелкните по модели правой кнопкой мыши и выберите *Редактировать*.

Шаг 19. Щелкните правой кнопкой мыши по элементу переменной Fill_Topogrid и выберите опцию *Параметр Модели*. Переименуйте переменную в «Исходный растр рельефа». Аналогично сделайте параметром модели переменную «Сетка_1000» и переименуйте ее в «Исходная сетка квадратов 1 км на 1 км». Также поступите и с переменной «Граница участка». Измените ее название на «Граница территории анализа» (рис. 8.15).

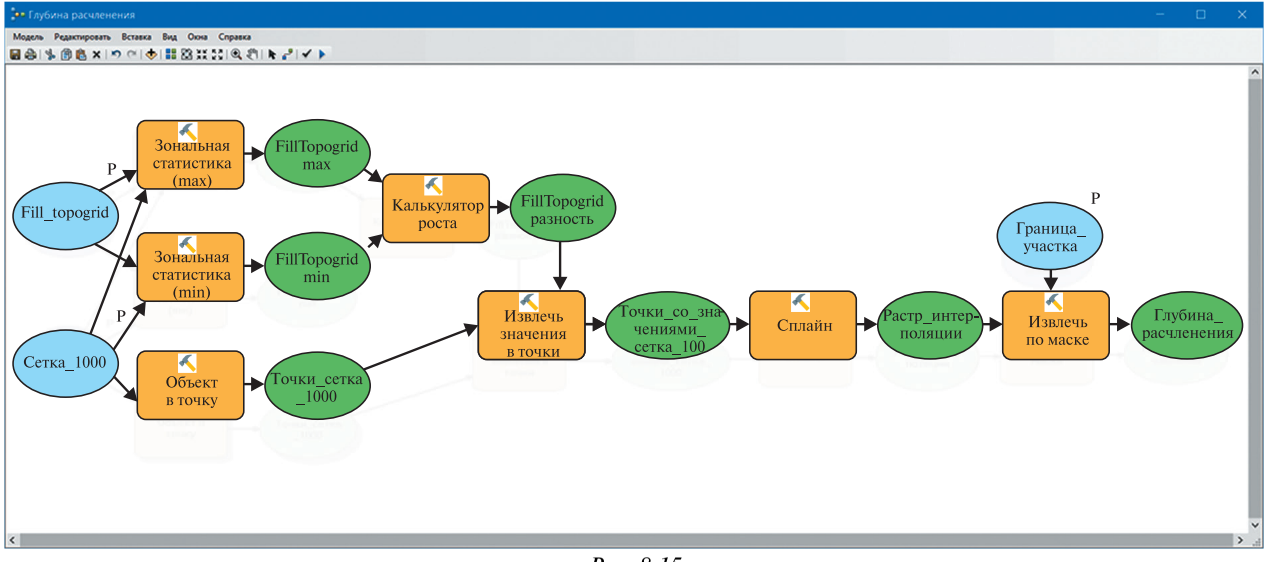

Глубина расчленения
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Справка
Fill_topogrid
Сетка_1000
P
P
Зональная статистика (max)
Зональная статистика (min)
Объект в точку
FillTopogrid max
FillTopogrid min
Точки_сетка _1000
Калькулятор роста
FillTopogrid разность
Извлечь значения в точки
Точки_со_зна чениями_ сетка_100
Сплайн
Растр_интер- поляции
P
Граница_ участка
Извлечь по маске
Глубина_ расчленения

Рис. 8.15

Шаг 20. Щелкните правой кнопкой мыши по элементу инструмента *Зональная статистика* (*max*) и выберите *Создать переменную → Из параметра → Поле зоны*. Переименуйте параметр в «Атрибутивное поле зон (max)». Щелкните по нему правой кнопкой мыши и выберите опцию *Параметр Модели*. Аналогично создайте такой же параметр для инструмента *Зональная статистика* (*min*), переименуйте его в «Атрибутивное поле зон (min)» и определите его параметром модели.

Щелкните правой кнопкой мыши по элементу инструмента *Сплайн* и выберите *Создать переменную → Из параметра → Размер входной ячейки*. Переименуйте его в «Размер ячейки при интерполяции» и определите его параметром модели.

Еще раз кликните правой кнопкой мыши по инструменту *Сплайн* и выберите *Создать переменную → Из среды → Экстент обработки → Экстент*. Переименуйте его в «Экстент при интерполяции» и также задайте как параметр модели.

Щелкните правой кнопкой мыши по элементу переменной *Глубина_расчленения* и выберите опцию *Параметр Модели*. Переименуйте переменную в «Выходной растр глубины расчленения» (рис. 8.16).

Шаг 21. В главном меню окна *ModelBuilder* выберите *Модель → Удалить промежуточные данные*. Также вызовите *Модель → Свойства модели*. В окне *Глубина расчленения Свойства* перейдите в раздел *Общие* и отметьте галочкой *Хранить относительный путь* (рис. 8.17).

Сохраните геомодель. Для этого щелкните по инструменту *Сохранить* на панели *ModelBuilder*. Закройте геомодель.

Шаг 22. Откройте *Каталог* на панели инструментов ArcMap *Стандартные*. В своей папке найдите набор инструментов «Морфометрия» и внутри него созданную геомодель «Глубина расчленения». Щелкните по модели правой кнопкой мыши и выберите *Открыть*.

В окне модели задайте параметры, аналогичные указанным на рис. 8.18. Сохраните выходной растр глубины расчленения в БГД «Геообработка» под именем «Глубина_расчленения_пуща».

После необходимых расчетов во фрейм данных будет добавлена модель вертикального расчленения территории национального парка «Беловежская пуща».

Зайдите в свойства слоя «Глубина_расчленения_пуща» (клик правой кнопкой мыши по названию слоя в таблице содержания → *Свойства*). На вкладке *Символы* выберите *Показать: Классификация*. Нажмите кнопку *Классифицировать*. В окне *Классификация* выберите метод – *Заданный интервал* и *Интервал* – 5 м/км^2. Выберите для грид-модели цветовую схему, сочетающую в себе оттенки желтого, оранжевого и коричневого (рис. 8.19).

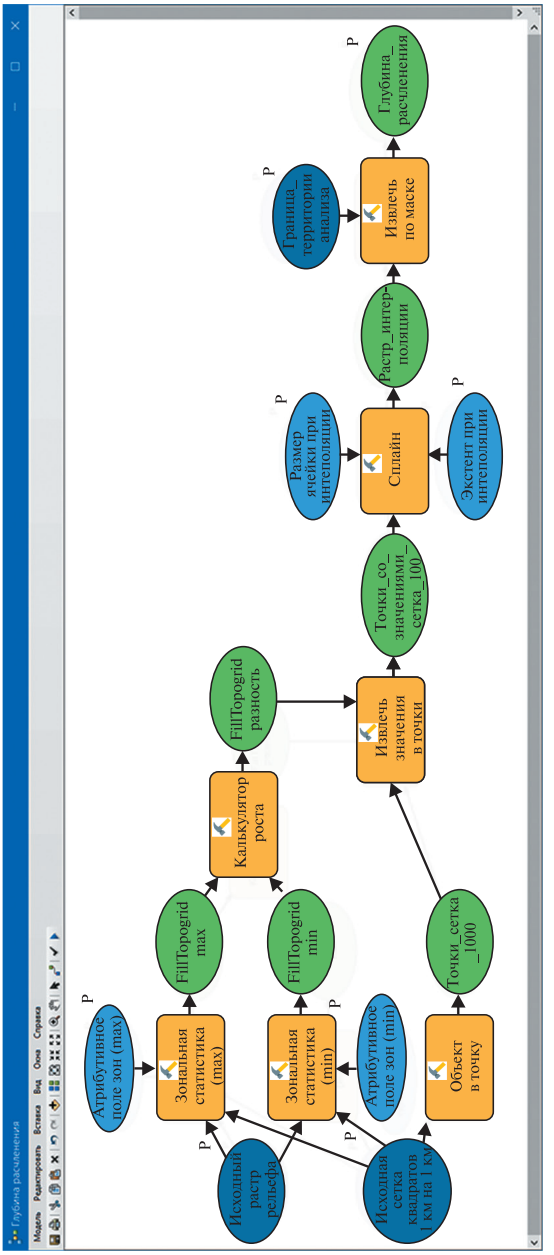

Глубина расчленения
Модель Редактировать Вставка Вид Окна Сервис
Атрибутивное поле зон (max)
P
Зональная статистика (max)
FillTopogrid max
Исходный растр рельефа
P
Калькулятор роста
FillTopogrid разность
Зональная статистика (min)
FillTopogrid min
P
Атрибутивное поле зон (min)
P
Исходная сетка квадратов 1 км на 1 км
Объект в точку
Точки_сетка _1000
Извлечь значения в точки
Точки_со_ значениями_ сетка_100_
Размер ячейки при интерполяции
P
Сплайн
Экстент при интерполяции
P
Растр_интер- поляции
Граница_ территории анализа
P
Извлечь по маске
Глубина расчленения
P

Рис. 8.16

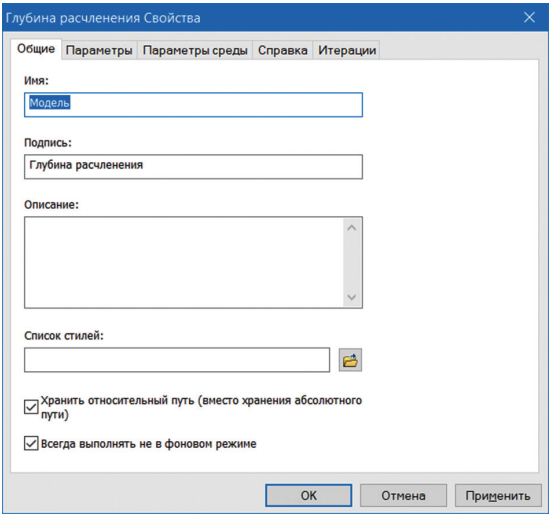


Рис. 8.17

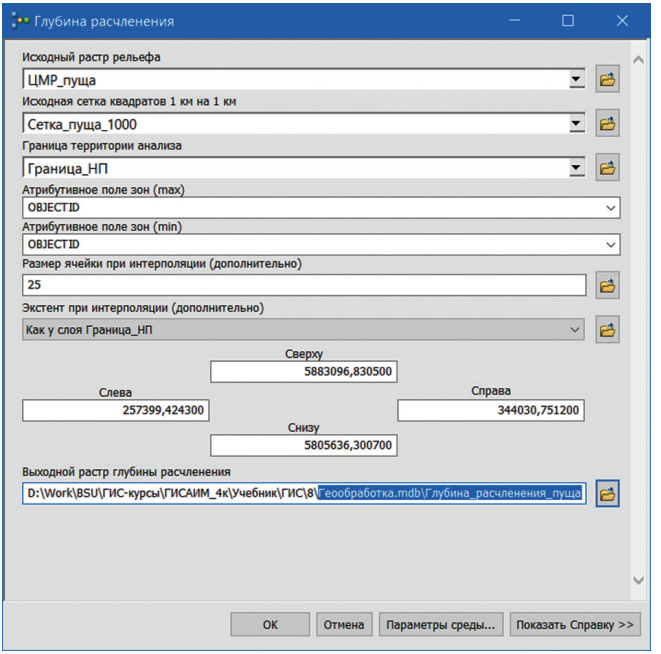


Рис. 8.18

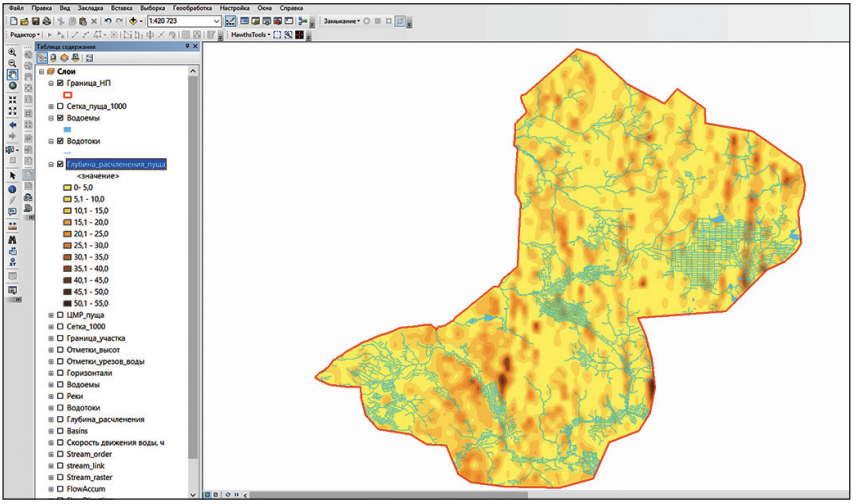


Рис. 8.19

Контрольные вопросы

1. Как в ГИС ArcGIS называется программная среда, позволяющая разрабатывать пользовательские инструменты геообработки?

2. Перечислите основные элементы геомоделей. Дайте им краткую характеристику.

3. Что задает опция *Параметр модели* для переменных?

Лабораторная работа 9

Трехмерное моделирование средствами ESRI CityEngine

Цель: освоить алгоритмы трехмерного моделирования в среде ESRI CityEngine.

Исходные данные: набор учебных данных Tutorial, векторные данные внутренней структуры квартала многоквартирной застройки в г. Минске («Полигоны.shp»), космический снимок квартала (Image.jpg).

Ход работы

9.1. Знакомство с ESRI CityEngine

Шаг 1. Запустите программу ESRI CityEngine, выбрав пункт меню *Пуск* → *Программы* → *Esri* → *CityEngine*. Появившееся окно *Welcome Wizard* следует закрыть. Создайте новый проект с именем My_City. Для этого выберите *File* → *New* → *CityEngine* → *CityEngine project* → *Next*. В окне *Project folder* (*Папка проекта*) в разделе *Project name* (*Название проекта*) наберите My_City («Мой_город»). Уберите галочку с опции *Use default location* (*Использовать папку по умолчанию*) в разделе *Location* (*Местоположение*) и задайте путь к вашей папке, например D:\CityEngine\. После этого нажмите кнопку *Finish* (*Закончить*).

Папка с созданным вами проектом, стандартными разделами, которые пока пусты, отображается в разделе *Navigator* (*Навигатор*), расположенном в верхнем левом углу рабочей панели (рис. 9.1).

Шаг 2. Для продолжения работы в проекте необходимо создание новой трехмерной сцены. Для этого выделите в окне навигатора папку My_City, затем выберите *File* → *New* → *CityEngine scene* → *Next*. В окне трехмерной сцены *CityEngine Scene* в разделах *Project folder* (*Папка проекта*) и *File name* (*Имя файла*) оставьте названия, предложенные по умолчанию (рис. 9.2), и нажмите *Finish* (*Закончить*).

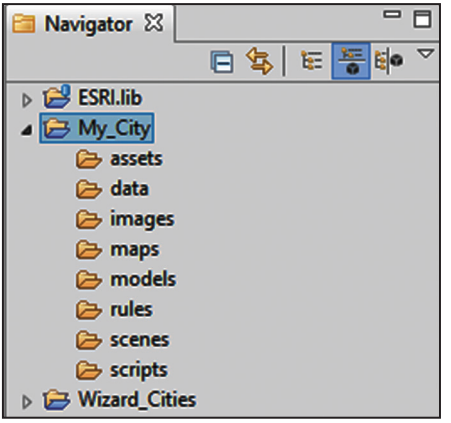


Рис. 9.1

Шаг 3. Создание трехмерных моделей зданий и других объектов в данном программном продукте можно производить разными путями. На данном, ознакомительном этапе будут использованы уже готовые правила построения трехмерных объектов, а также заранее созданные слои полигональных и линейных объектов.

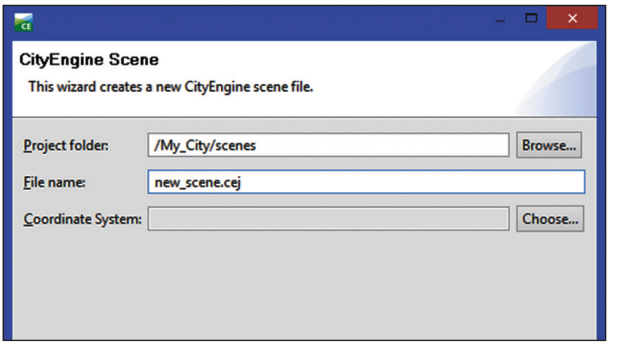


Рис. 9.2

Подключите для визуализации в проекте папку готовых данных. Для этого выполните *File* → *Import/Link Project Folder into Workspase*. В окне *Обзор папок* найдите папку исходных данных по выполнению лабораторной работы и выберите в ней папку Tutorial. В раздел *Navigator* (*Навигатор*) рабочей панели будет добавлена папка с одноименным названием.

В разделе *Navigator* (*Навигатор*) рабочей панели раскройте содержимое папок My_City и Tutorial. Используя мышь, перетащите раздел *assets* (*ресурсы*) папки Tutorial в одноименный раздел папки My_City. Аналогично переместите раздел *rules* (*правила*) папки Tutorial в одноименный раздел папки My_City (рис. 9.3).

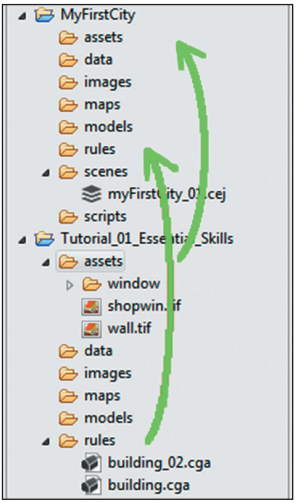


Рис. 9.3

Шаг 4. Для построения трехмерных моделей зданий необходим векторный слой, объединяющий сеть дорог и полигоны, на которых будут размещены модели зданий. Автоматическое построение сети дорог выполняется командой *Graph* (*Граф*) → *Grow Streets* (*Создать дороги*) (рис. 9.4).

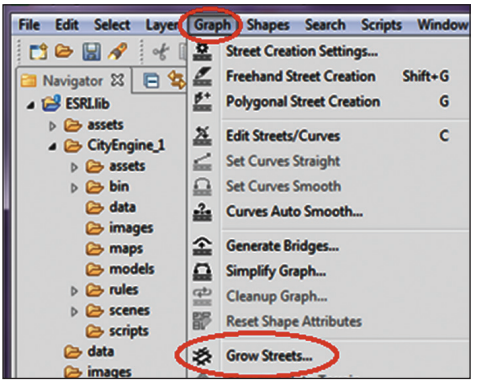


Рис. 9.4

После выбора данной команды в появившемся окне необходимо установить параметры, аналогичные определенным на рис. 9.5, и нажать *Apply* (*Применить*).

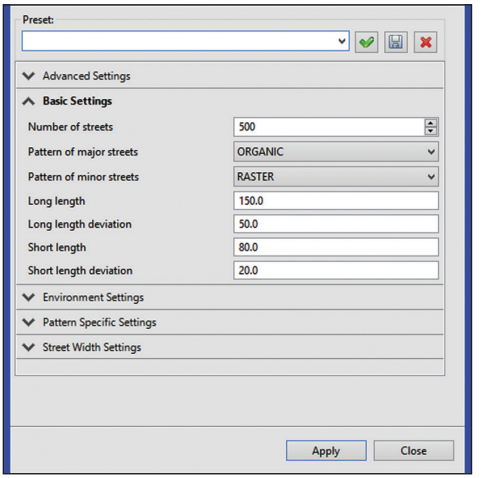


Рис. 9.5

Шаг 5. Масштаб полученного слоя (рис. 9.6) необходимо увеличить, прокрутив колесико мыши. Инструментом *Selection Tools* (*Инструмент выборки*) выберите любую часть квартала. Вместе с ним будет выделен и весь квартал (блок), которому он принадлежит (рис. 9.7).

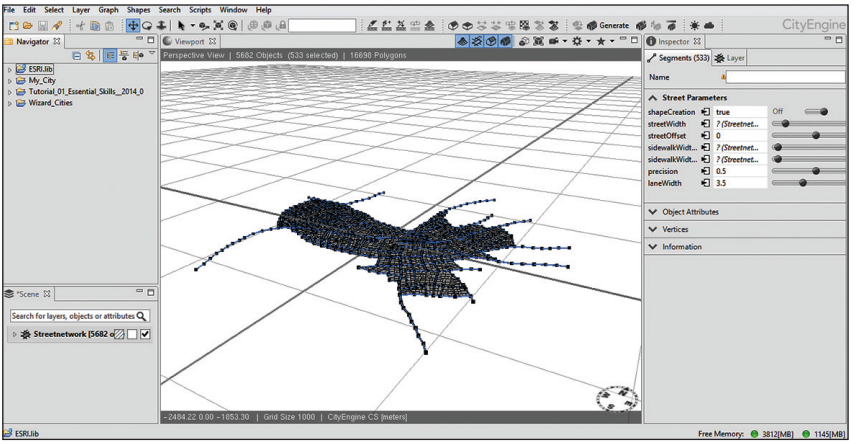


Рис. 9.6

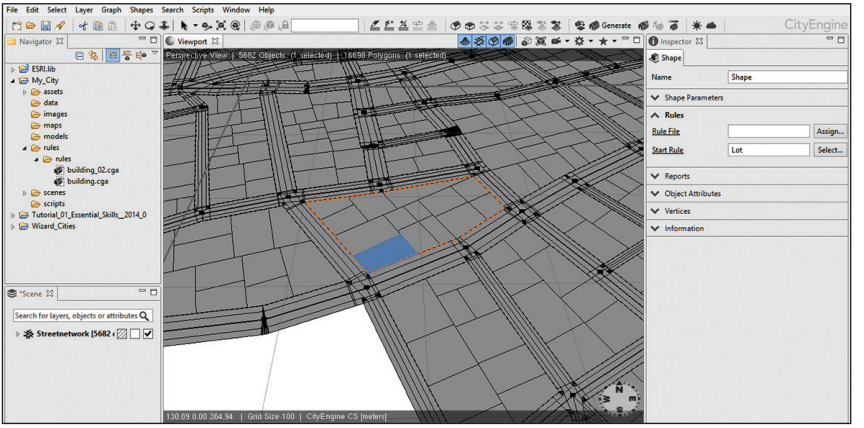


Рис. 9.7

Шаг 6. В разделе *Navigator* (*Навигатор*) рабочей панели раскройте содержимое раздела *rules* (*правила*) папки My_City. Перетащите файл с правилами построения трехмерного здания с покатой крышей building_02.cga из папки *Rules* раздела *Navigator* (*Навигатор*) на выбранную часть квартала. Результат построения отображен на рис. 9.8.

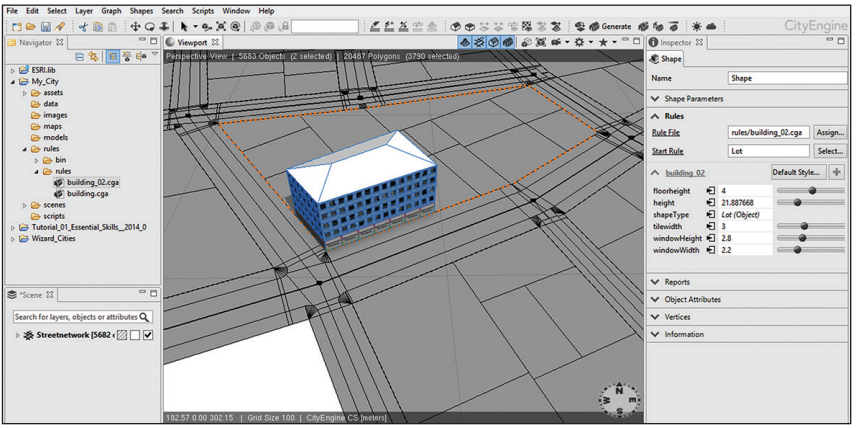


Рис. 9.8

Шаг 7. На панели *Inspector* (*Настройки*), которая расположена в правой части окна программы, в разделе *Shape* (*Формы*), части *Rules* (*Правила*) измените характеристики трехмерного здания на установленные на рис. 9.9.

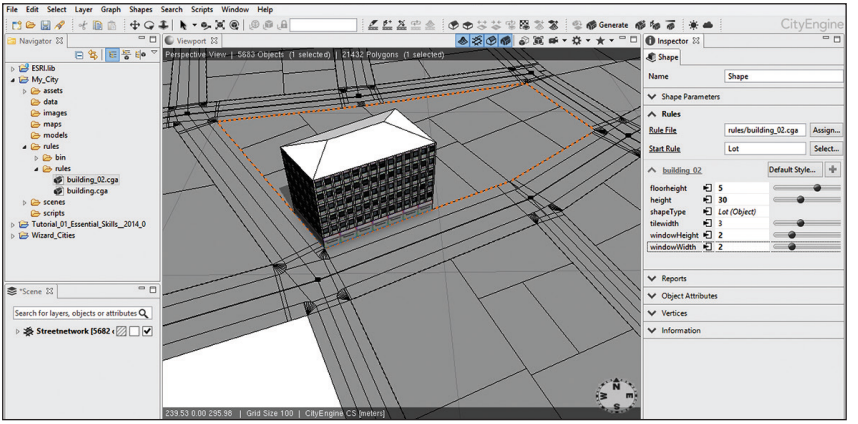


Рис. 9.9

Шаг 8. Используя готовые правила построения трехмерных зданий (с покатой крышей building_02.cga и с плоской крышей building.cga) из папки *Rules* раздела *Navigator* (*Навигатор*), а также возможности модификации их характеристик (*floorheight* – высота этажных пролетов, *height* – высота здания, *tilewidth* – ширина квартирных пролетов, *windowHeight* – высота оконных проемов, *windowWidth* – ширина оконных проемов), сформируйте произвольную трехмерную модель отдельного квартала (либо его части) (рис. 9.10).

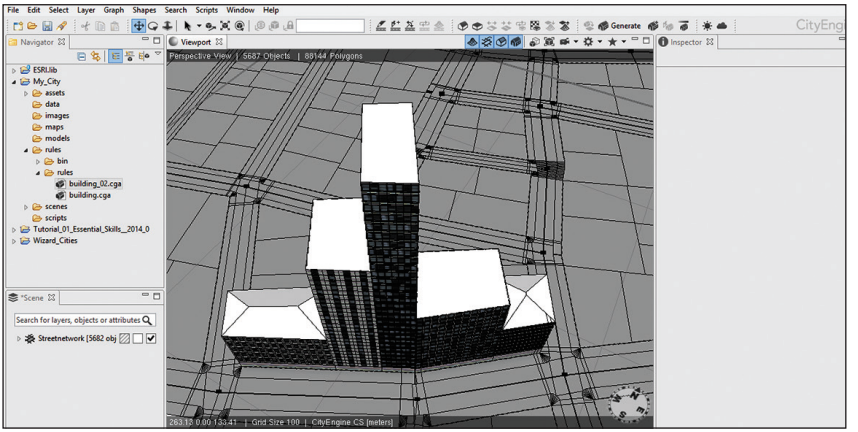


Рис. 9.10

Закройте программу, сохранив проект.

9.2. Создание средствами ESRI CityEngine трехмерной модели квартала многоквартирной застройки в г. Минске

Шаг 1. Запустите программу ESRI CityEngine. В своей папке создайте новый проект под названием Minsk.

В проекте Minsk создайте новую трехмерную сцену. В окне *CityEngine Scene* в разделах *Project folder* (*Папка проекта*) и *File name* (*Имя файла*) оставьте названия, предложенные по умолчанию. В разделе *Coordinate System* (*Система координат*) установите проекционную систему координат WGS 1984 World Mercator (находится в папке *Projected Coordinate System* → *World*). После этого нажмите *Finish* (*Закончить*) (рис. 9.11).

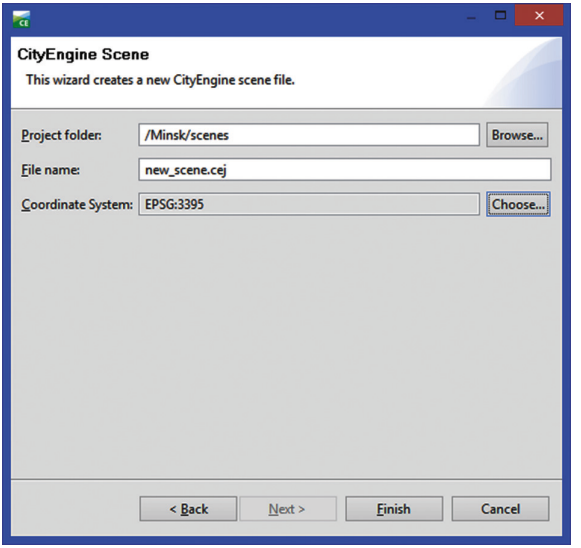


Рис. 9.11

Шаг 2. Для импорта шейп-файла с полигонами зданий, зеленых зон, парковок необходимо выполнить *File* → *Import* → *CityEngine Layers* → *Shapefile Import* → *Next* (рис. 9.12). После этого в окне поиска следует найти шейп-файл «Полигоны.shp» (расположен в папке исходных данных Minsk). Параметры импорта оставьте по умолчанию. Нажмите *Finish* (*Закончить*).

Таким образом, в проект загружен шейп-файл с полигонами жилых зданий, парковки и зеленой зоны в пределах небольшого квартала многоквартирной застройки в г. Минске (рис. 9.13).

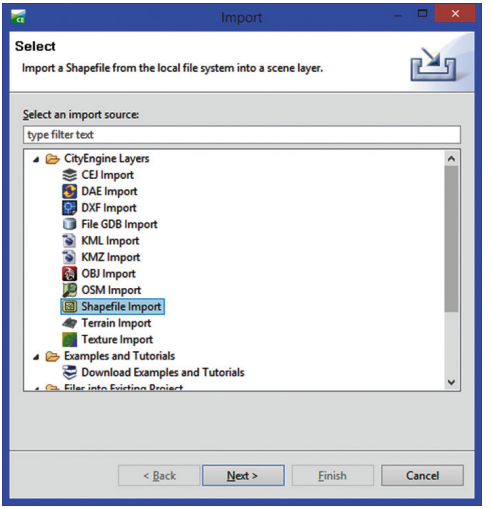


Рис. 9.12

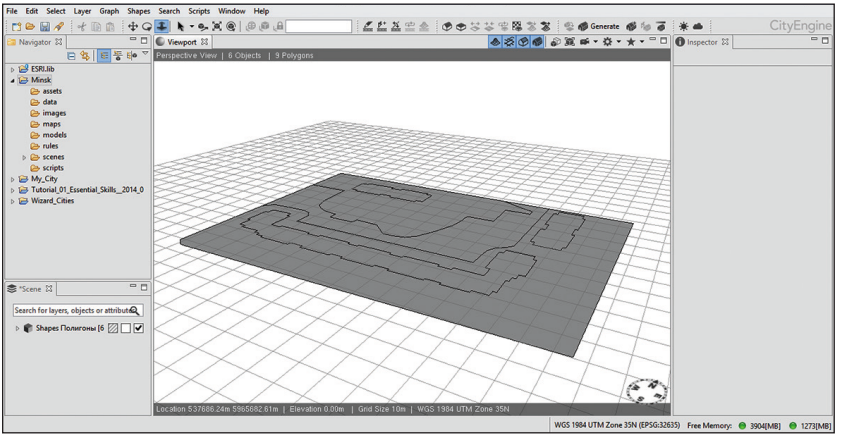


Рис. 9.13

Шаг 3. Импортируйте в проект космоснимок. Для этого выполните следующие действия. Сначала в Проводнике Windows скопируйте четыре файла (image.jpg, image.jpgw, image.prj, image.jpg.aux.xml) из папки Minsk (находится в папке исходных данных по выполнению лабораторной работы) в папку *Ваша папка/Minsk/images* (в папке Minsk вы сохраняли текущий проект и трехмерную сцену).

Далее следует выполнить: *File* → *Import* → *CityEngine Layers* → *Texture Import* → *Next* (рис. 9.14).

В появившемся окне *Texture* выберите из папки *Minsk/images* файл космоснимка Image.jpg, остальные параметры оставьте по умолчанию (рис. 9.15). Нажмите *Finish* (*Закончить*).

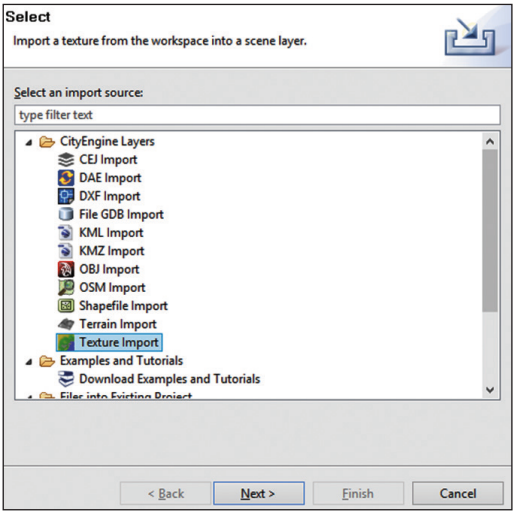


Рис. 9.14

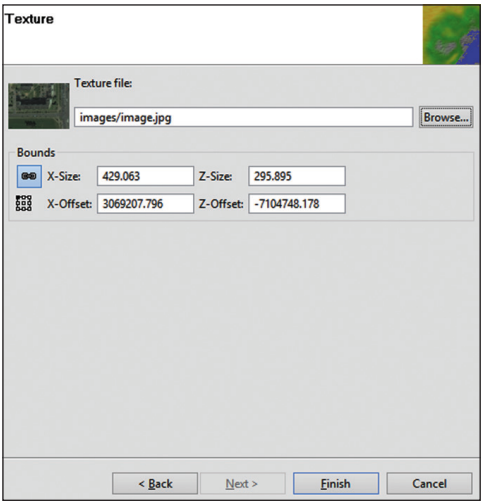


Рис. 9.15

На панели *Inspector* (*Настройки*), которая расположена в правой части окна программы, в разделе *Layer* (*Слой*), части *Elevation Offset* (*Высотное смещение*) измените значение данной характеристики на 1.0 (рис. 9.16).

Загруженный снимок является подложкой для построения трехмерной модели зданий, а также для текстурирования зеленой зоны и парковки.

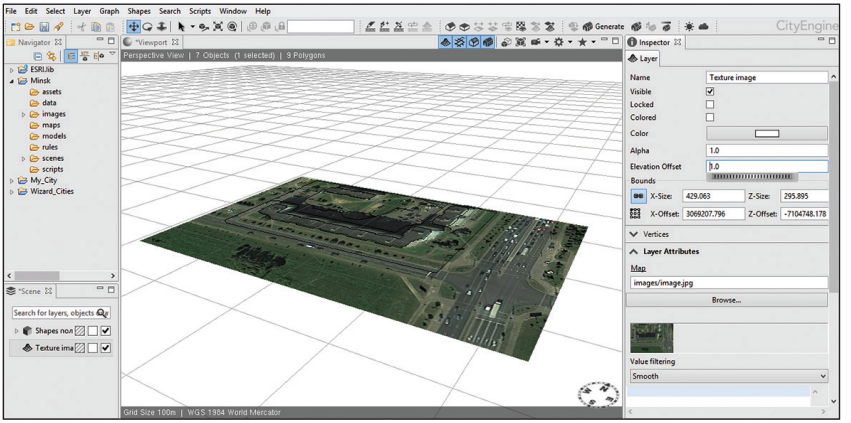


Рис. 9.16

Шаг 4. Создание трехмерных моделей зданий может осуществляться различными путями: с применением простых правил, использовавшихся в разделе 9.1, а также с использованием более подробных правил построения зданий, где учитывается не только высота здания и его форма, но и ширина оконных рам, дверей, их высота, текстура, вид крыши и многое другое. Написание таких правил занимает много времени, поэтому при выполнении данной работы используются правила, существующие в библиотеке ESRI CityEngine. Высота зданий и другие параметры при использовании готовых правил могут быть изменены, можно также изменить и текстуру здания.

Инструментом *Selection Tools* (*Инструмент выборки*) выберите три полигона в границах квартала, представляющие собой здания (определить их возможно путем визуального дешифрирования космоснимка).

В разделе *Navigator* (*Навигатор*) рабочей панели раскройте содержимое раздела *rules* (*правила*), подраздела *Buildings* (*здания*) папки ESRI.lib (рис. 9.17). Перетащите файл с правилами построения трехмерного здания Building_From_Footprint.cga на выбранные на трехмерной сцене жилые здания.

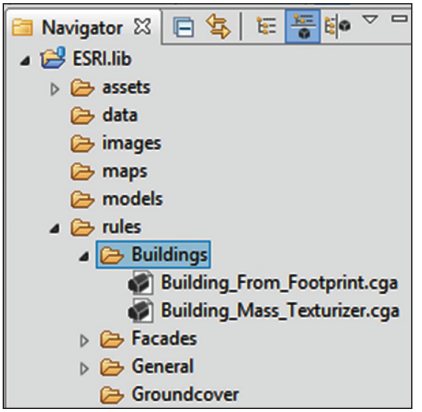


Рис. 9.17

На панели *Inspector* (*Настройки*), которая расположена в правой части окна программы, в разделе *Shapes* (*Формы*), части *Building Settings* (*Параметры зданий*), установите значение 70 для параметров *Eave_Ht* и *Ridge_Ht*, отвечающих за высоту зданий. Для параметра *Usage* (*Характер использования*) выберите вариант *Residential* (*Жилые*). В части *Facade Textures* (*Текстуры фасадов*) для параметра *Upper floors Texture* (*Текстуры верхних этажей*) выберите из списка текстуру u_f001_t002_Residential_009.jpg, для параметра *Ground floor Texture* (*Текстура для нижнего этажа*) – g_f001_t001_Mercantile_001.jpg (рис. 9.18).

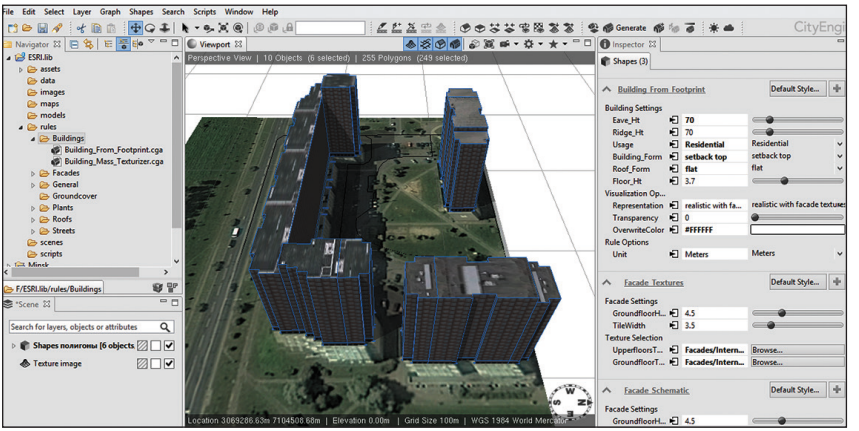


Рис. 9.18

Шаг 5. Неотъемлемым элементом трехмерного моделирования городской среды является моделирование растительности. Подробное моделирование отдельного дерева – это длительный процесс прорисовки всего и его построения в AutoCAD и экспорта в CityEngine. Библиотека ESRI CityEngine имеет большой каталог растительности различных природных зон всего земного шара. С использованием уже имеющихся моделей деревьев в среде ESRI CityEngine моделируется зеленая зона.

Перед началом моделирования растительности квартала необходимо ознакомиться со списком имеющихся пород. Это можно сделать, раскрыв в разделе *Navigator* (*Навигатор*) рабочей панели содержимое раздела *assets* (*ресурсы*), подраздела *Plants* (*Растительность*) папки ESRI.lib. Выбрав определенное растение в предоставленном списке, его можно просмотреть в окне ниже *Navigator* (рис. 9.19).

Выполните моделирование трехмерных растений квартала путем подбора их из библиотеки (файлы со словом Model в названии и с расширением *.obj) и перетаскивания на полигон «зеленая зона» в соответствии с подложкой в виде космоснимка (рис. 9.20, 9.21).

Закройте программу, сохранив проект.

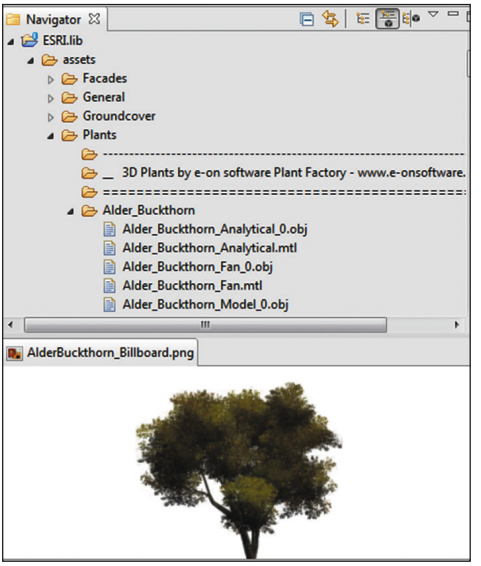


Рис. 9.19

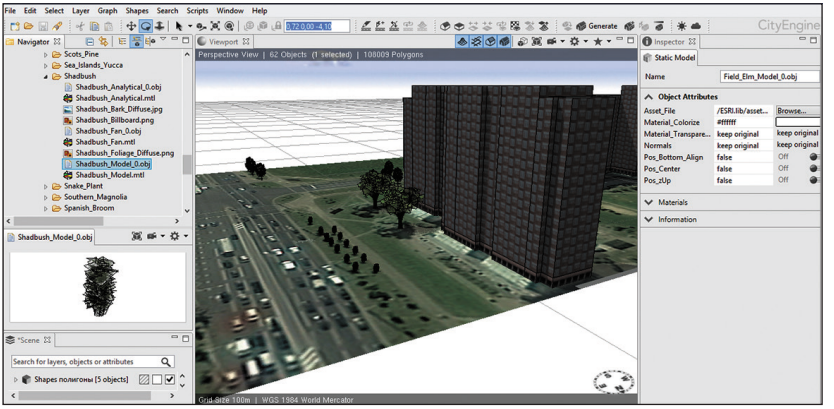


Рис. 9.20

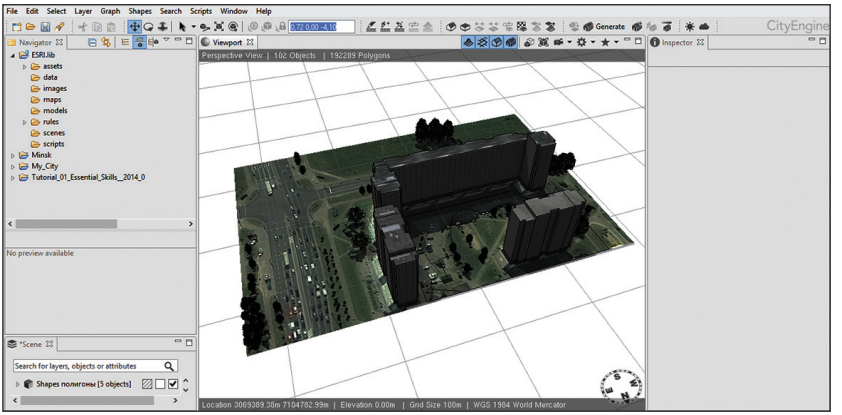


Рис. 9.21

9.3. Контрольное задание

Шаг 1. Используя программный продукт SASPlanet (архив программы находится в папке исходных данных по выполнению лабораторной работы), загрузите космоснимок квартала любого города Беларуси.

Архив программы следует распаковать в свою папку, после этого запустить файл SASPlanet.exe.

В окне программы следует выбирать источник данных (например, «Яндекс. Карты») (рис. 9.22). Затем необходимо увеличить экстент до интересующего квартала. При этом следует запомнить ранг текущего масштаба карты (отображается в левой части окна карты), например z19.

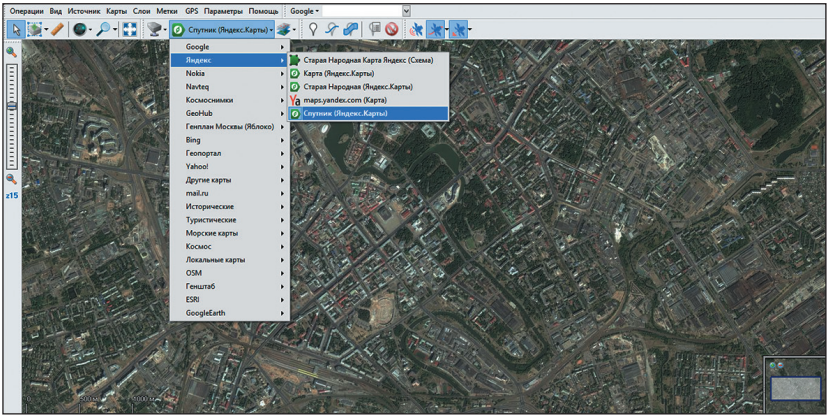


Рис. 9.22

С помощью инструмента *Прямоугольная область* на карте следует выделить фрагмент для последующего скачивания (рис. 9.23).

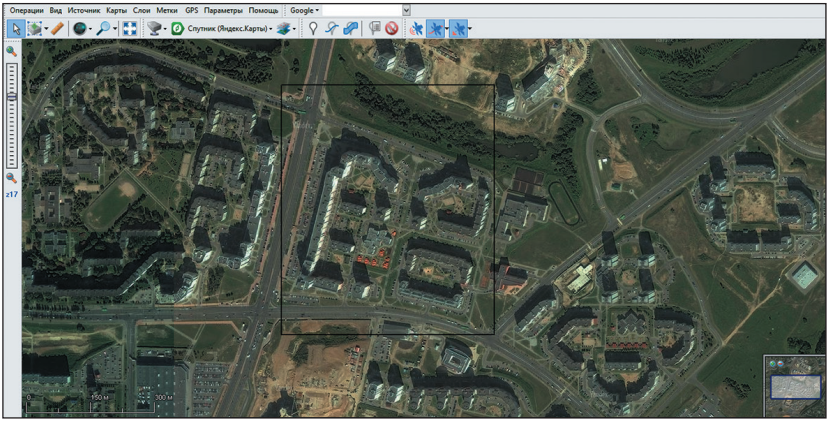


Рис. 9.23

В появившемся окне *Операции с выделенной областью* во вкладке *Загрузить* необходимо выбирать тип карты и масштаб (рис. 9.24).

С помощью вкладки *Склеить* необходимо определить путь по сохранению файла. Остальные параметры следует установить аналогично рис. 9.25. После этого необходимо нажать кнопку *Начать*. Космоснимок будет сохранен с файлом геопривязки. В последующем его надо будет открыть в ГИС ArcGIS.

Шаг 2. Откройте в ArcMap ГИС ArcGIS загруженное космическое изображение. Установите для фрейма данных проекционную систему координат WGS 1984 World Mercator (расположена в папке *Проекционные системы координат → Мир*). В среде ArcCatalog создайте новый шейп-файл (используйте указанную ранее систему координат). В ArcMap обрисуйте границу квартала. Путем разрезания участка квартала на полигоны, используя для этого космоснимок, создайте здания, парковки и зеленые зоны, дороги. Сохраните редактирование.

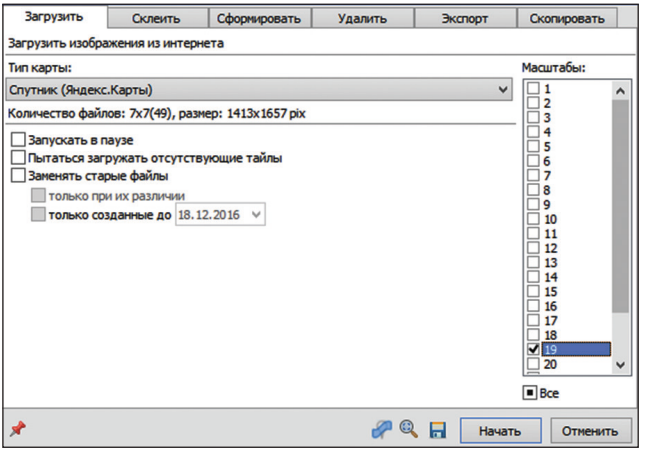


Рис. 9.24

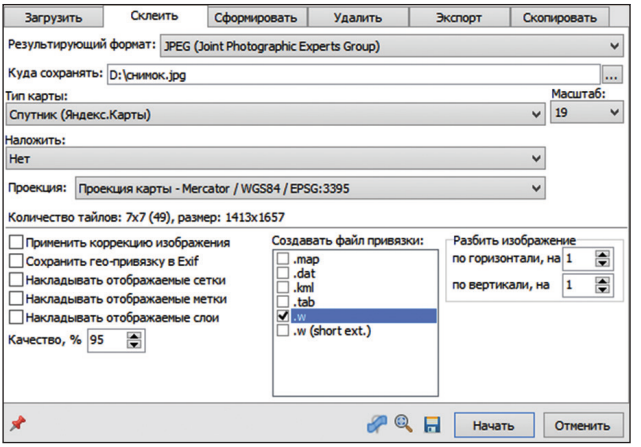


Рис. 9.25

Шаг 3. В среде ESRI CityEngine создайте новый проект. В нем сформируйте трехмерную сцену (не забудьте указать систему координат, которая была использована при создании шейп-файла). Импортируйте в проект подготовленные ранее шейп-файл и космоснимок.

Шаг 4. Смоделируйте имеющиеся здания. Для этого перетащите «правило», используемое для построения трехмерных моделей зданий в подразделе 9.2. В окне *Inspector* изменяйте характеристики здания и текстуры для достижения наиболее реалистичной картины.

Шаг 5. Создайте трехмерные модели растительности. Для этого из библиотеки ESRI CityEngine перетаскивайте уже созданные модели растительности в необходимые места.

Контрольные вопросы

1. Приведите основную последовательность шагов при создании трехмерной модели городской среды в ESRI CityEngine.
2. Каким образом в ESRI CityEngine формируются трехмерные модели зданий?
3. Что понимается под готовым правилом построения трехмерного здания? Какие параметры трехмерной модели здания подлежат настройке пользователем в ESRI CityEngine?
4. Каким образом в ESRI CityEngine производится трехмерное моделирование растительности?
5. Какую роль при построении трехмерной сцены выполняют данные дистанционного зондирования Земли?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Геоинформатика : учеб. для вузов : в 2 кн. / под ред. В. С. Тикунова. М., 2010.

2. Геоинформатика. Толковый словарь основных терминов / Ю. Б. Баранов [и др.]. М., 1999.

3. *ДеМерс М. Н.* Географические информационные системы. Основы : пер. с англ. М., 1999.

4. *Красовская И. А.*, *Курлович Д. М.*, *Галкин А. Н.* ГИС-технологии : курс лекций. Витебск, 2015.

5. *Курлович Д. М.* ГИС-картографирование земель : учеб.-метод. пособие. Минск, 2011.

6. *Маккой Дж.* ArcGIS 9. Spatial Analyst. Руководство пользователя : пер. с англ. М., 2004.

7. *Маккой Дж.* ArcGIS 9. Геообработка в ArcGIS : пер. с англ. М., 2004.

8. *Миами М.* ArcMap. Руководство пользователя : в 2 ч. : пер. с англ. М., 2001.

9. *Шіпулін В. Д.* Основи ГІС-аналізу : навч. носібник. Харків, 2014.

10. Что такое CityEngine? [Электронный ресурс]. URL: http://resources.arcgis.com/ru/communities/city-engine/ (дата обращения : 01.01.2018).

11. ArcGIS Help [Электронный ресурс]. URL: http://resources.arcgis.com/ru/help/ (дата обращения : 01.01.2018).

12. Principles of Remote Sensing : An Introductory Textbook / edit. board N. Kerle [et al.]. Enschede, 2007.

13. 3D Analyst. Руководство пользователя : пер. с англ. М., 2002.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 3

1. МЕТОДЫ ВЕКТОРНОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА 5

2. МЕТОДЫ РАСТРОВОГО ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО АНАЛИЗА 15

3. ТРЕХМЕРНОЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ 27

Лабораторная работа 1. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО ГИС-АНАЛИЗА ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ ФОРМАНТОВ ОЙКОНИМОВ 32

Лабораторная работа 2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕКТОРНОГО ГИС-АНАЛИЗА ПРИ ПОИСКЕ МЕСТА ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА СТАНЦИИ ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД 41

Лабораторная работа 3. СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ 56

Лабораторная работа 4. ГЕОКОДИРОВАНИЕ 74

Лабораторная работа 5. СОЗДАНИЕ КАРТ-АНАМОРФОЗ 82

Лабораторная работа 6. РАСТРОВЫЙ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ ГИС-АНАЛИЗ 89

Лабораторная работа 7. ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИЙ ГИС-АНАЛИЗ 102

Лабораторная работа 8. ГЕООБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОМОДЕЛЕЙ MODELBUILDER 130

Лабораторная работа 9. ТРЕХМЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СРЕДСТВАМИ ESRI CITYENGINE 150

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ 166

Учебное издание

Курлович Дмитрий Мирославович

ГИС-АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ

Учебно-методическое пособие

Редактор *Т. Н. Крюкова*
Художник обложки *Т. Ю. Таран*
Технический редактор *Л. В. Жаборовская*
Компьютерная верстка *В. В. Мироновой*
Корректор *Н. А. Ракуть*

Подписано в печать 11.12.2018. Формат 60×84/16. Бумага офсетная.
Печать цифровая. Усл. печ. л. 9,76. Уч.-изд. л. 10,65. Тираж 100 экз. Заказ 617.

Белорусский государственный университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/270 от 03.04.2014.
Пр. Независимости, 4, 220030, Минск.

Республиканское унитарное предприятие
«Издательский центр Белорусского государственного университета».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/63 от 19.03.2014.
Ул. Красноармейская, 6, 220030, Минск.