

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.Н. Шихов, Е.С. Черепанова, А.И. Пономарчук

ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

**Применение ГИС-технологий
при решении гидрологических задач**

Практикум

Допущено методическим советом Пермского государственного
национального исследовательского университета в качестве
учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению
подготовки бакалавров «Картография и геоинформатика»,
«Гидрометеорология», «Прикладная гидрометеорология»
и по направлению подготовки магистров «Картография
и геоинформатика», «Гидрометеорология»



Пермь 2014

УДК [911.2; 551.4]:556.4

ББК 26.823+26.222

Ш 65

Ш 65

Шихов А. Н.

Геоинформационные системы: применение ГИС-технологий при решении гидрологических задач: практикум: учеб. пособие / А. Н. Шихов, Е. С. Черепанова, А. И. Пономарчук; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. – Пермь, 2014. – 91 с.: ил

ISBN 978-5-7944-2388-4

Приводятся сведения о применении ГИС-технологий, методов пространственного анализа и геоинформационного картографирования в гидрологических исследованиях.

Представлены способы решения гидрологических задач с применением данных дистанционного зондирования Земли, данных полевых и наземных измерений.

Данное пособие может быть использовано в учебном курсе «Геоинформационные системы» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Гидрометеорология», по направлению подготовки бакалавров «Прикладная гидрометеорология», и в учебном курсе «Геоинформационное картографирование» для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров и магистров «Картография и геоинформатика».

УДК [911.2:551.4]:556.4

ББК 26.823+26.222

Печатается по решению редакционно-издательского совета

Пермского государственного национального исследовательского университета

Рецензенты: **В. Р. Беляев**, старший науч. сотр. НИ Лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева географического ф-та МГУ, канд. геогр. наук; **Г. В. Лобанов**, доц. каф. экологии и природопользования естественно-географического ф-та Брянск. гос. ун-та, канд. геогр. наук

ISBN 978-5-7944-2388-4

© Шихов А.Н., Черепанова Е.С., Пономарчук. А.И., 2014

© Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
Практическая работа №1. Построение цифровой модели рельефа на основе векторных данных и автоматизированное определение границ водосборов	6
Практическая работа №2. Определение границ зон возможного затопления при прохождении паводков и половодий редкой повторяемости на основе детальной цифровой модели рельефа (на примере с. Усть-Кишерть Пермского края)	21
Практическая работа №3. Выделение зон затопления на основе данных космического мониторинга	31
Практическая работа №4. Применение ГИС-технологий для восстановления полей гидрометеорологических величин	44
Практическая работа №5. Подготовка данных для распределенного моделирования формирования стока (схематизация водосбора)...	69
Заключение	88
Литература	89

ВВЕДЕНИЕ

Гидрологические исследования сложно представить без использования картографических материалов для комплексного изучения водных ресурсов и их пространственно-временного распределения. Для определения основных гидрографических характеристик рек и их бассейнов, морфометрических характеристик озер и водохранилищ, визуальной оценки территории используются топографические и тематические карты разных масштабов. Геоинформационные системы нашли широкое применение в гидрологии, поскольку большинство гидрологических задач носят ярко выраженный пространственный характер.

Внедрение геоинформационных технологий, использование цифровых картографических материалов и ЦМР значительно упрощает и повышает точность расчетов гидрографических характеристик, а также существенно расширяет возможности использования картографической информации [Калинин, Пьянков, 2010].

В настоящее время средствами ГИС-технологий решается несколько классов гидрологических задач [Калинин, Пьянков, 2010]:

- 1) создание и ведение гидрологических баз данных;
- 2) определение и уточнение гидрологических и гидрографических характеристик рек и их бассейнов;
- 3) цифровое картографическое моделирование для расчета гидрографических и гидрологических показателей;
- 4) гидрологический анализ.

В предлагаемом издании кратко рассмотрены методы и практические способы решения (с применением геоинформационных технологий) нескольких часто встречающихся на практике гидрологических задач:

- 1) построение гидрологически корректных цифровых моделей рельефа и автоматизированное определение на их основе границ водосборных бассейнов;
- 2) определение некоторых гидрографических характеристик рек и их бассейнов по ЦМР;
- 3) определение границ зон возможного затопления при прохождении паводков и половодий высокой обеспеченности в пределах населенного пункта, с использованием детальной цифровой модели рельефа;
- 4) выявление зон затопления по разновременным данным дистанционного зондирования Земли (в оптическом диапазоне) и составле-

ние перечней объектов, попадающих в зону затопления;

5) восстановление полей гидрометеорологических величин (температуры воздуха, осадков, снеготпасов), с учетом влияния рельефа; построение карт климатических характеристик территории;

6) подготовка комплекса картографических материалов, необходимых для расчетов и прогнозов стока; схематизация водосборов.

Инструкции по выполнению заданий предполагают использование в качестве основного инструмента программного обеспечения ESRI ArcGis версии 10.1 (разработка компании ESRI).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №1

ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА НА ОСНОВЕ ВЕКТОРНЫХ ДАННЫХ И АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ВОДОСБОРОВ

Теоретические основы

Цифровые модели рельефа (ЦМР) в настоящее время широко используются специалистами, работающими в самых разных направлениях географии и геоморфологии. Одной из важнейших задач, решаемых с помощью ЦМР, является автоматизированное построение границ водосборов постоянных и временных водотоков. Важность ее решения определяется многообразием научных и прикладных задач, решаемых с помощью бассейнового подхода, роль которого в настоящее время только возрастает. Обусловлено это, в первую очередь, возможностью использования современных информационных технологий, доступностью цифрового рельефа и базовых гидрометеорологических параметров для всей территории планеты. Все это дает возможность исследовать природные процессы и явления на различных уровнях генерализации с использованием ГИС [Мальцев, Ермолаев, 2014].

ЦМР является основополагающим элементом любой распределенной гидрологической модели, или бассейновой геоинформационной системы, поскольку позволяет определить многие морфометрические и гидрографические характеристики рек и их бассейнов: вектора направления стока, тальвеги и водоразделы, площади водосборов, порядки водотоков, уклоны водотоков. При этом точность автоматизированного определения гидрографических характеристик зависит от характера рельефа, а также от разрешения ЦМР. Наименьшая точность определения границ водосборов по ЦМР характерна для территорий со слаборасчлененным рельефом в связи с тем, что на поверхности с близким к нулю уклоном направление стока и границы водосборов часто определяется неверно, а значительная часть территории вообще не дренируется гидрографической сетью или относится к областям внутреннего стока.

Для выполнения гидрологического анализа предъявляются также определенные требования и к разрешению ЦМР. Для автоматизированного оконтуривания бассейнов средних и малых равнинных рек пространственного разрешения и высотной точности свободно распространяемых ЦМР (SRTM-90, GTOPO-30) иногда оказывается недостаточно. В таком случае требует-

ся создание ЦМР на основе оцифровки топографических карт или дорогостоящих данных радарной спутниковой съемки.

ЦМР, которая используется при определении гидрографических характеристик рек и их бассейнов, должна быть гидрологически корректной. Понятие гидрологической корректности ЦМР включает два основных положения [Яковченко, 2007]:

1) в ЦМР должны отсутствовать фиктивные точки стока (фиктивные депрессии);

2) потоковые линии (талвеги) на ЦМР должны совпадать с исходными отрезками речной сети.

При построении гидрологически корректной ЦМР должна учитываться не только информация о рельефе, но и данные о речной сети и замкнутых понижениях.

Функции анализа ЦМР и расчета гидрографических характеристик рек и их бассейнов доступны во многих программных средствах ГИС, как свободно распространяемых, так и проприетарных. Наиболее широки функциональные возможности свободно распространяемых программных продуктов TAS и SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis). В системе ArcGis некоторые инструменты гидрологического анализа и моделирования реализованы в модуле Spatial Analyst.

Техническая постановка задачи

Необходимо по имеющимся векторным исходным данным о рельефе и гидрографии построить цифровую модель рельефа и выполнить автоматизированное выделение границ водосборных бассейнов:

р. Вишера – пост Вая,

р. Улс – пост Усть-Улс,

р. Вишера – пост. Митракова,

р. Березовая – пост Булдырья.

Исходные данные для выполнения работы находятся в папке **C:\Tasks\HydroAnalysis**. Просмотрите исходные шейп-файлы и их атрибутивные таблицы, используя приложение **ArcCatalog**. Обратите внимание на то, что исходные топографические слои содержат представление гидрографии в виде как линейных, так и полигональных объектов. Данные представлены на всю территорию Пермского края. Для снижения затрат времени на последующую их обработку необходимо выделить область анализа

(северо-восток Пермского края, территория, относящаяся к бассейну р. Вишера). Данная область выделена в шейп-файле **mask.shp**.

Запустите приложение **ArcMap** и добавьте в новый проект все исходные данные из папки **C:\Tasks\HydroAnalysis**. Используя инструмент **Вырезание** (группа инструментов **Анализ**, подгруппа **Извлечение**), последовательно вырежьте фрагменты исходных данных на область интереса (границы которой представлены в файле **mask.shp**), сохраняя вырезанные фрагменты исходных данных в новую папку (рис.1.1). Сохраните документ ArcMap в своей рабочей папке с названием **HydroAnalysis.mxd**. По окончании вырезания удалите из проекта исходные данные на всю территорию Пермского края и оставьте только вырезанные слои.

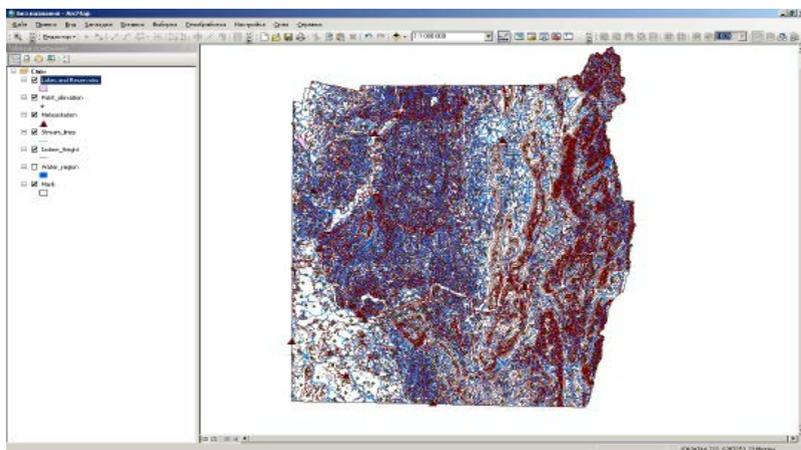


Рис. 1.1. Область анализа после подготовки данных

В слое полигональных водных объектов существуют объекты разных типов – реки и озера. Для построения цифровой модели рельефа необходимо выделить в отдельный слой озера. Чтобы создать его, откройте атрибутивную таблицу слоя полигональных водных объектов. Используя меню **Опции – выбрать по атрибуту**, выберите все объекты типов «**Озера постоянные**», «**Озера пересыхающие**» и «**Водохранилища**» и создайте на основе выборки новый векторный слой «**Озера**».

Для автоматизированного выделения границ речных бассейнов первоначально необходимо создать гидрологически корректную цифровую модель рельефа. В программном пакете ArcGIS 10.1 для этого используется инструмент «**Топо в растр**», позволяющий принимать во внимание объекты гидрографической сети.

Второй наиболее известный метод построения ЦМР (создание триангуляционной модели TIN и ее последующая конвертация в растровый формат) позволяет использовать только данные о высотных отметках и изолинии высот.

Инструмент **«Топо в растр»** в версии ArcGis 10.1 поддерживает объекты девяти типов (табл. 1.1). В данном случае при построении цифровой модели рельефа будут использованы объекты пяти типов (вследствие отсутствия некоторых дополнительных данных): высотные отметки, изолинии высот, реки, озера и граница территории.

Таблица 1.1

Типы объектов, используемые при построении цифровой модели рельефа с помощью инструмента «Топо в растр»

Тип объекта	Поле высоты (есть/нет)	Описание
Отметки высот (Point Elevation)	+	Точечные объекты, содержащие в атрибутивной таблице значения высот
Изолинии высот (Contour)	+	Линейные объекты (горизонтали), содержащие в атрибутивной таблице значения высот
Водотоки (Stream)	-	Линейные объекты, представляющие сеть водотоков
Озера (Lake)	-	Класс полигональных объектов, который задает местоположение озер. Всем ячейкам выходного растра, попадающим внутрь озера, присваивается минимальное значение высоты из всех высот всех ячеек, расположенных вдоль береговой линии
Замкнутые понижения (Sink)	+	Класс точечных объектов, который представляет известные локальные топографические понижения
Граница территории (Boundary)	-	Полигональный объект – внешний контур выходного растра
Береговая линия (Coast)	-	Полигональные объекты – контуры береговой линии
Обрывы (Cliff)	-	Линейные объекты, представляющие собой обрывы
Исключение (Exclusion)	-	Полигональные объекты - области, в которых входные данные будут игнорироваться. Такие полигоны позволяют исключить некоторые данные высот из процесса интерполяции

- заполнение локальных понижений в ЦМР (функция **Fill**);
- построение растра направления стока (функция **FlowDirection**);
- построение растра кумулятивного стока (функция **FlowAccumulation**);
- идентификация водотоков;
- определение точек устьев, или замыкающих створов;
- выделение границ водосборов (функция **Watershed**).

Заполнение локальных понижений выполняется с помощью инструмента **Заполнение** (выберите группу инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Гидрология**). Локальные понижения представляют собой небольшие артефактные (т.е. не существующие в природе) замкнутые впадины на цифровой модели рельефа, появление которых связано часто с неточностью исходных данных. Часто они приурочены к тальвегам. Их заполнение необходимо для выделения по растру речной сети и границ водосборов. В качестве входного растра укажите растр ЦМР. Выходной растр назовите **DEM_fill.tif**. Запустите процесс расчета нажатием кнопки **OK** (рис. 1.3).

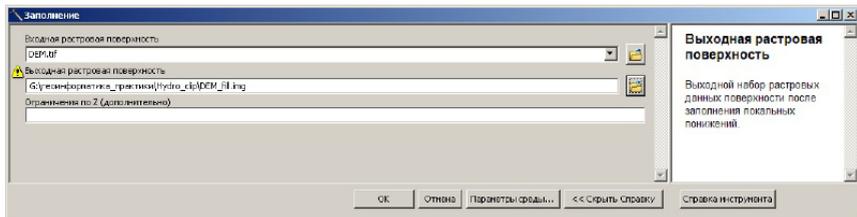


Рис. 1.3. Заполнение локальных понижений в ЦМР

По цифровой модели рельефа с заполненными локальными понижениями строится растр направления стока по 8 румбам, значения которых соответствуют сторонам света (1 – В, 4 – ЮВ, 8 – Ю, 16 – ЮЗ, 32 – З, 64 – СЗ, 128 – С).

Для построения растра направления стока в **ArcToolBox** выберите инструмент **Направление Стока** (подгруппа инструментов **Гидрология**). В качестве входных данных задайте растр ЦМР, выходной растр сохраните с названием **FlowDirection.tif**. Растр понижения задавать не нужно (рис. 1.4).

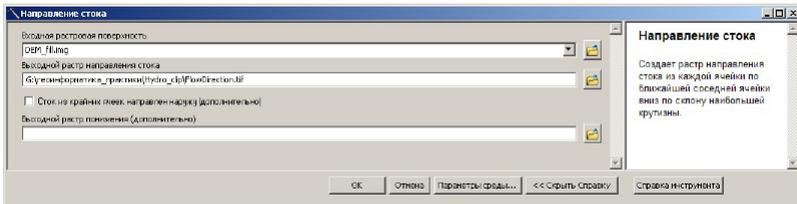


Рис. 1.4. Расчет направления стока

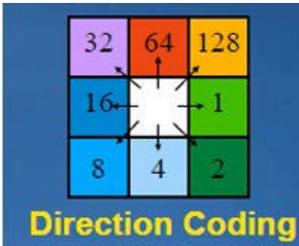


Рис. 1.5. Возможные значения растра ячеек направления стока

Каждая ячейка раstra направления стока несет информацию о направлении движения потока. На его основе рассчитываются линии водотоков и контуры речных бассейнов. Ячейки раstra принимают одно из девяти возможных значений (рис. 1.5).

Настройте для раstra направления стока тип легенды – **Уникальные значения** и убедитесь, что список значений в легенде соответствует списку, приведенному на рис. 1.5.

Растр накопления стока (суммарный сток) рассчитывается на основе направления потоков. Для этого используется инструмент **Суммарный сток** (группа инструментов **Гидрология**). Данный инструмент позволяет определить линии тальвегов.

Результаты выполненных расчетов могут быть использованы для создания сети водотоков путем применения порогового значения для выбора ячеек с высоким суммарным стоком.

В качестве входного раstra в диалоговом окне инструмента задайте растр направления стока, выходной файл назовите **FlowAccumulation.tif**, тип пикселя задайте **Float** и нажмите **OK** (рис. 1.6).

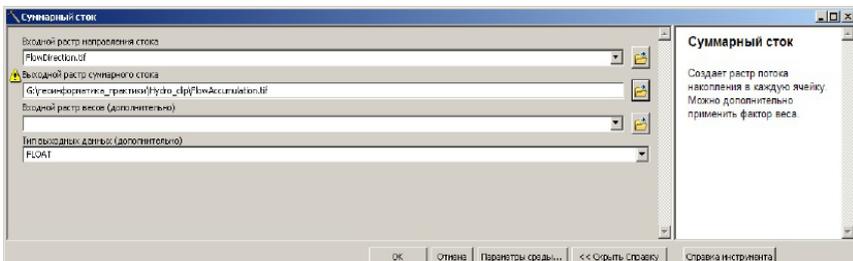


Рис.1.6. Создание раstra суммарного стока

Каждый пиксель растра суммарного стока отображает то количество ячеек, по которым перемещается условный водный поток к данной ячейке. Значения в выходном растре, отображающие значительное потоковое накопление, могут быть использованы для идентификации речных русел. Построенная таким образом растровая модель содержит информацию о водотоках, причем пользователь имеет возможность задать минимальный кумулятивный сток, который для каждой ячейки определяется минимальным количеством ячеек, стекающих в данную. На выходе можно получить сеть водотоков с различной степенью генерализации.

В свойствах полученного растра направления стока перейдите на вкладку **Символы**. Оставьте тип отображения – **Растяжка**, а тип растяжки – **По гистограмме**, цветовая схема – **черно-белая**. В результате сильного контрастирования растра будут лучше видны линии водотоков различного порядка (см. рис. 1.7).

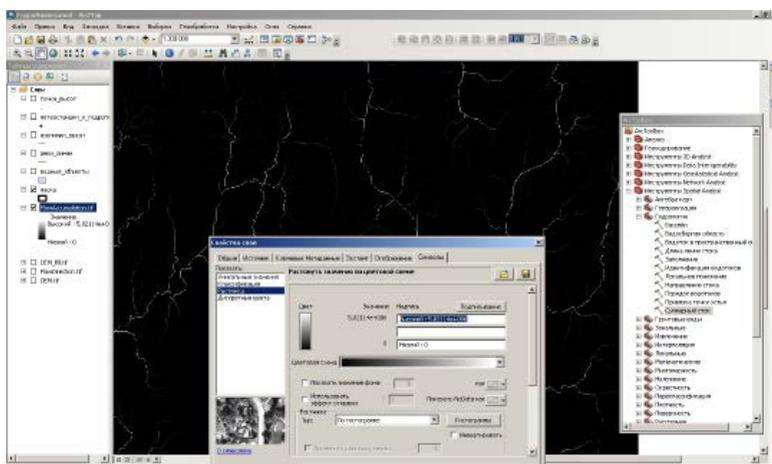


Рис. 1.7. Настройка свойств отображения растра направления стока

Максимальные значения кумулятивного стока имеют ячейки, соответствующие руслам крупных рек. Для того чтобы выделить не только крупные, но и малые реки, а в последующем выделить границы водосборов, необходимо установить минимальное пороговое значение кумулятивного стока, соответствующее водотокам.

Включите векторный слой рек и оцените соответствие их с потоковыми линиями, выделенными по ЦМР. Величина порогового значения для идентификации водотоков будет соответствовать верхнему течению малых рек и ручьев, в данном случае она составляет порядка 800-1000 ячеек.

Запустите **Растровый калькулятор** и вычислите с его помощью выражения:

$$[FlowAccumulation] > [x],$$

где x – определенное вами пороговое значение.

В результате создается бинарный индексный растр, в котором значение «1» соответствует водотокам (дренажу). Конвертируйте его в вектор (используя инструмент Spatial Analyst **Конвертация – Растр в вектор**), выделив предварительно в атрибутивной таблице растра строку со значением «1». Название выходного векторного файла задайте **Drainage.shp**. Таким образом, из ЦМР извлечена информация о тальвегах (рис. 1.8).

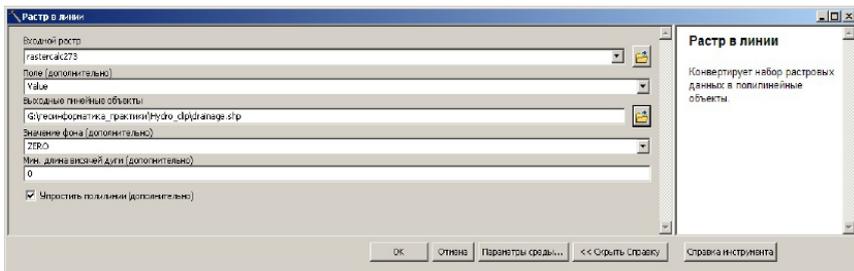


Рис. 1.8. Конвертация линий тальвегов из растрового представления в векторное

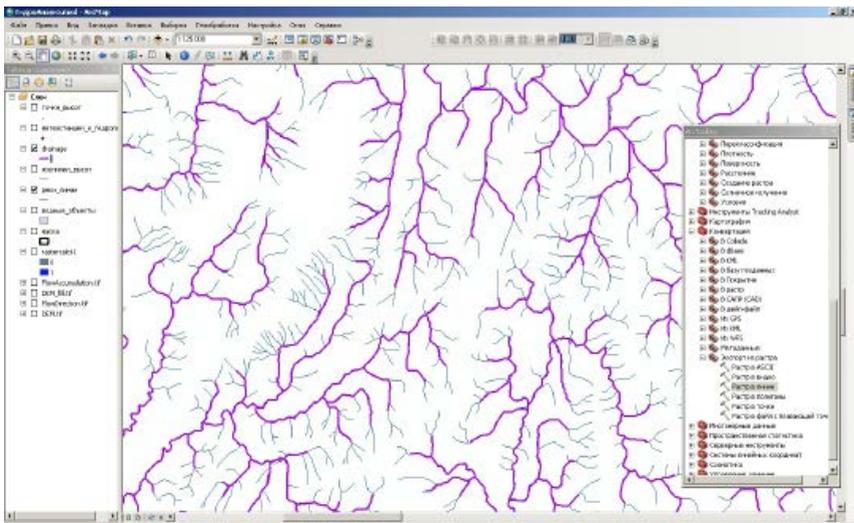


Рис. 1.9. Сопоставление расчетного дренажа с векторным слоем речной сети (порог отсечения задан равным 1000 ячеек)

Далее сопоставьте фактическую речную сеть с расчетным дренажом территории. Наилучшее совпадение достигается в горных районах, в то же время здесь расчетный дренаж генерализован в сравнении с исходным векторным слоем рек (рис. 1.9), что, очевидно, связано с меньшей детальностью ЦМР в сравнении с данными о гидрографии. Для уменьшения степени генерализации расчетного дренажа необходимо уменьшить порог отсечения водных объектов, или же создать более детальную ЦМР.

Для автоматизированного выделения водосборов необходимо, чтобы положение замыкающих створов соответствовало линиям расчетного дренажа. Подключив слой гидропостов, можно убедиться, что гидропосты (замыкающие створы) чаще всего смещены относительно расчетного дренажа.

Запустите **ArcCatalog**, создайте новый шейп-файл с точечными пространственными объектами и назовите его **Замыкающие створы.shp**.

Систему координат для шейп-файла импортируйте из растра направления стока (иначе водосборы выделены не будут). Начните редактирование объектов в слое замыкающих створов, настройте замыкание на вершины и на ребро объектов из векторного слоя дренажа. Установите точки замыкающих створов вблизи гидропостов так, чтобы они находились точно на оси расчетных потоков (дренажа) (рис. 1.10).

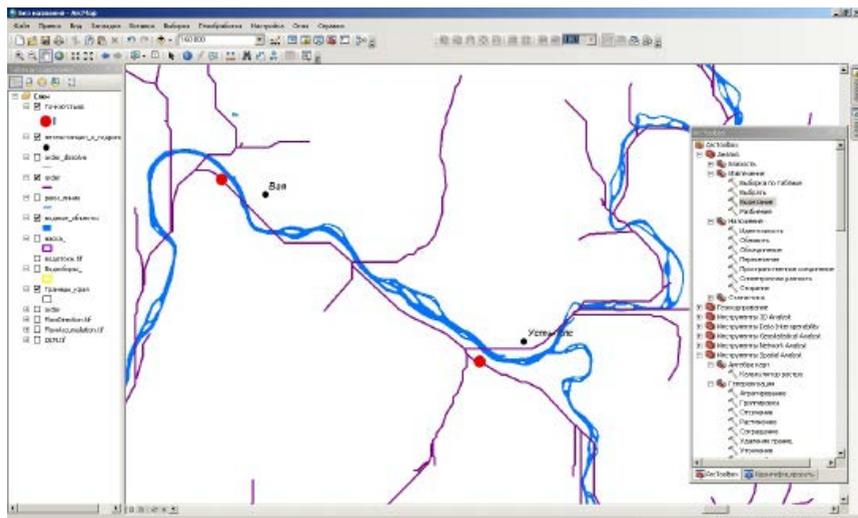


Рис. 1.10. Установка точки замыкающего створа для бассейна р. Вишера – пос. Вая и р. Улс – пос. Усть-Улс

При этом нужно обращать внимание на малые боковые притоки и не устанавливать точки в местах их впадения (поскольку в таком случае будет выделен водосбор не интересующей реки, а ее притока).

Для автоматизированного определения границ водосборов запустите инструмент **Водосборная область** (подгруппа инструментов Гидрология). Чтобы получить верный результат, предварительно в **Параметрах Среды** данного инструмента необходимо задать экстенст обработки, соответствующий исходным данным (например, слою ЦМР) (рис. 1.11).

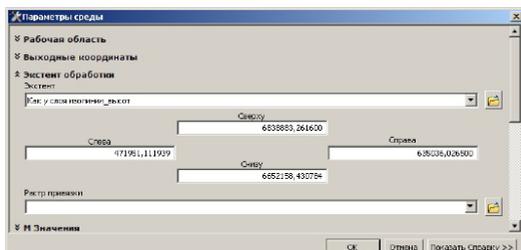


Рис. 1.11. Настройка параметров среды для инструмента «Водосборная область»

В атрибутивной таблице слоя замыкающих створов выделите замыкающий створ водосбора р. Улс. Запустите инструмент **Водосборная область**. В качестве входного растра направления стока добавьте растр **FlowDirection.tif**, векторных данных точек устьев – слой замыкающих створов, выходной растр назовите **Водосбор_Улс.tif** (рис. 1.12). Запустите процесс расчета.

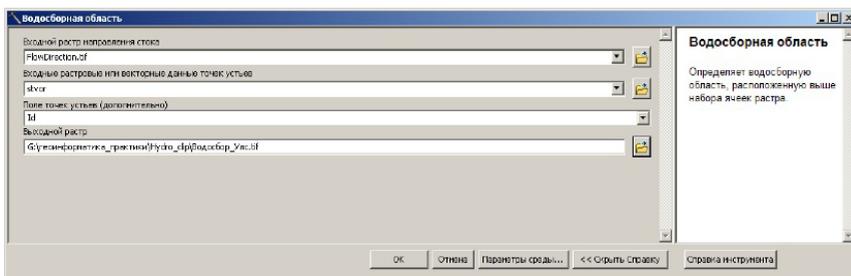


Рис. 1.12. Выполнение операции выделения водосборов

В результате вычисления будет создан контур р. Улс до с. Усть-Улс в растровом формате (рис. 1.13).

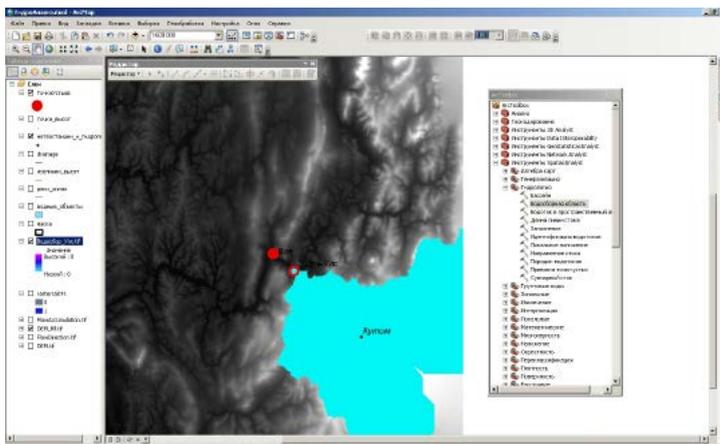


Рис. 1.13. Выделенный водосбор р. Улс до с. Усть-Улс

Для расчета площади водосбора и различных морфометрических параметров необходимо конвертировать его контур в векторный формат. Выполните автоматическую векторизацию полученного растрового слоя, используя инструмент **Конвертация – Из растра – Растр в полигоны**, в группе инструментов Конвертация.

Выполните аналогичные операции (автоматическое оконтуривание водосбора с использованием инструмента **Водосборная область**, и последующую конвертацию растра в вектор) для остальных водосборов (р. Вишера – пост Вая, р. Вишера – пост Митракова и р. Березовая – пост Булдырья). Результат должен выглядеть как на рис. 1.14.

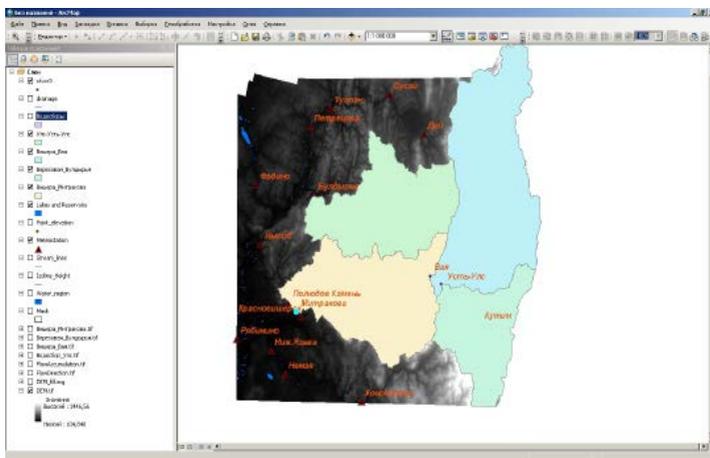


Рис. 1.14. Результат выделения водосборов

Затем выполните слияние полученных четырех векторных слоев в один шейп-файл. Для этого используется инструмент **Слияние** из группы **Управление Данными**, подгруппа инструментов **Общие** (рис. 1.15).

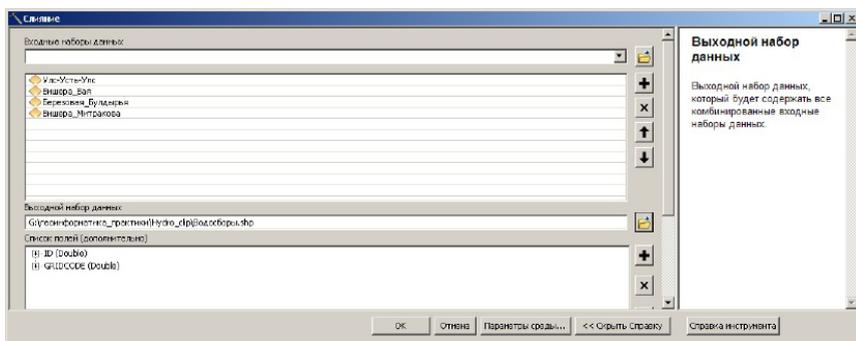


Рис. 1.15. Слияние нескольких шейп-файлов в один

Откройте атрибутивную таблицу созданного слоя водосборов и добавьте в нее два новых поля: поле **Area** (тип – **float**) для значений площади и поле **Name** (текстовое, длина – **50 символов**) – для названия объекта. Начните редактирование слоя. Внесите в поле **Name** названия водосборов.

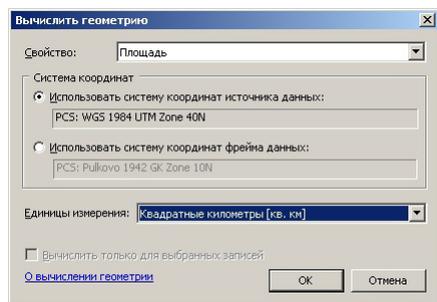


Рис. 1.16. Вычисление площади водосборов

Удалите все артефактные полигоны, не являющиеся контурами перечисленных водосборов. Вычислите площадь водосборов в квадратных километрах, для этого используется функция **Вычислить Геометрию** в контекстном меню поля **Area** (рис. 1.16).

Наиболее часто используемые морфометрические характеристики водосборов – средняя высота, средний уклон, залесенность, заболоченность, закарстованность, густота речной сети и др. Они могут быть вычислены методами оверлейных операций, или с помощью зональной статистики по растру.

Вычислите среднюю высоту и средний уклон водосборов. Для этого воспользуйтесь инструментом **Зональная Статистика** Spatial Analyst. Зональная статистика позволяет рассчитывать описательные статистики (среднее, медиана, максимум, минимум, стандарт-

ное отклонение, разброс значений и др.) по растру, в пределах заданной зоны (обычно векторных полигональных объектов). Поэтому бывает удобно присоединять зональную статистику к атрибутивной таблице слоя.

Вычисление уклона по цифровой модели рельефа выполняется с помощью Spatial Analyst (группа **Поверхность**, инструмент **Уклон**). В результате будет создан растр уклонов с размером ячейки таким же, как у ЦМР.

Для расчета зональной статистики в группе инструментов Spatial Analyst выберите **Зональные**, инструмент **Зональная Статистика в таблицу** (рис. 1.17). Поскольку нужно вычислить только среднее значение, тип статистики установите **Mean**. Поле зоны должно содержать наименование водосбора (**Name**).

Затем необходимо присоединить результирующие таблицы .dbf к слою водосборов, используя контекстное меню слоя (**Соединения и Связи**), и с помощью **Калькулятора поля** перенести значения средних высот и уклонов водосборов в новые поля атрибутивной таблицы.

Для расчета густоты речной сети в пределах водосборов используйте оверлейные операции. Сначала необходимо вырезать слой линейных водных объектов (**Stream.shp**) по границам каждого из водосборов, используя инструмент вырезания (**Clip**), а затем вычислить суммарную длину рек в пределах бассейнов. Создайте новое поле в слое водосборов и в нем рассчитайте густоту речной сети в км/км², поделив общую длину рек в пределах бассейна на его площадь. Итоговая атрибутивная таблица слоя водосборов должна включать данные о площади водосбора, средней высоте, среднем уклоне и густоте речной сети, как на рис. 1.18.

FID	Shape	ID	G	area	Name	Водосборы.Mean Height	Водосборы.Mean Slope	riverdens1
0	Пол	1	0	2033,24	Улс-Усть-Улс	542,323	10,4889	0,513009
1	Пол	1	0	6792,93	Вишера-Вал	502,3	10,7607	0,526209
2	Пол	2	0	3033,29	Березовая-Булдыря	297,555	6,25941	0,871628
3	Пол	3	0	10222,4	Вишера-Митракова	300,575	7,54161	0,575593

Рис. 1.18. Результаты вычисления некоторых гидрографических характеристик водосборов

По завершении расчета создайте компоновку карты, на которой отобразите цифровую модель рельефа, контуры водосборов, речную сеть. Подпишите водосборы по полю **Name**. Добавьте в компоновку легенду и масштабную линейку. Оформите компоновку по примеру рис. 1.19. Для более качественной визуализации рельефа примените комбинирование легенды и теневой отмывки.

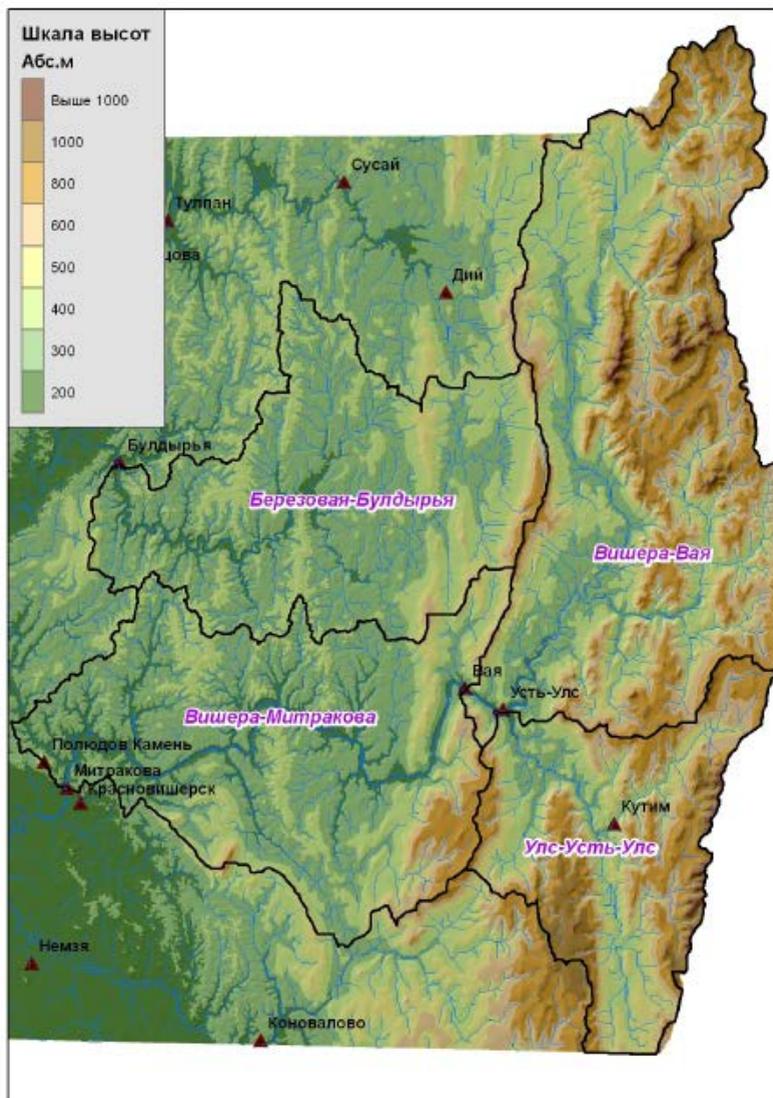


Рис. 1.19. Готовая компоновка карты

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ ЗОН ВОЗМОЖНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ПАВОДКОВ И ПОЛОВОДИЙ РЕДКОЙ
ПОВТОРЯЕМОСТИ НА ОСНОВЕ ДЕТАЛЬНОЙ
ЦИФРОВОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА
(НА ПРИМЕРЕ С. УСТЬ-КИШЕРТЬ ПЕРМСКОГО КРАЯ)

Теоретические основы

При прохождении паводков и половодий редкой повторяемости, в зоны затопления могут попадать жилые дома и производственные сооружения, что приводит к значительному материальному ущербу. В связи с этим представляет большой практический интерес определение зон возможного затопления и составление перечней объектов, которые могут быть затоплены с различной вероятностью. Применение геоинформационных технологий и цифровых моделей рельефа позволило в значительной степени автоматизировать этот процесс [Постнова, 2005; Яковченко, 2006; Шавнина, 2011]. Определение границ зон возможного затопления является в настоящее время одной из стандартных прикладных гидрологических задач, решаемых средствами ГИС. Из исходных данных, для построения границ зон затопления необходимо иметь:

1) детальную информацию о рельефе территории, полученную с топографических карт масштаба 1:25000 и крупнее (с сечением горизонталей 5 м и менее;

2) зависимость уровня воды от расхода для данной территории, она может быть рассчитана на основе данных гидрологических наблюдений;

3) значения расходов или уровней воды заданной обеспеченности.

В настоящее время разработаны несколько методов определения зон затопления средствами ГИС, обеспечивающих различную точность вычислений. Наиболее часто используется метод превышений. При использовании этого метода уклоны водной поверхности при подъеме уровней предполагаются тождественными уклонам водной поверхности, получаемым по картографической информации на главном русле реки [Постнова, 2005].

К цифровой модели рельефа, используемой при расчетах зон затопления, также предъявляются определенные требования:

1. Для ее создания используются крупномасштабные исходные топографические данные (1:25000 и крупнее), высотная точность ЦМР должна быть не менее 1,5-2 м. Поэтому исключается воз-

возможность использования ЦМР, полученных на основе спутниковых данных и представленных в открытом доступе (SRTM-90, Aster GDEM), имеющих высотную точность порядка 5-15 м.

2. Для построения ЦМР достаточно рассматривать лишь область, непосредственно примыкающую к реке, тем самым существенно сокращая временные затраты на ее создание.

3. ЦМР должна быть гидрологически корректной и иметь постоянное понижение вдоль русла реки.

В данной работе предлагается на основе заранее подготовленных исходных материалов построить границы зоны возможного затопления с Усть-Кишерть при прохождении максимальных расходов воды весеннего половодья в годы 5%-ной, 1%-ной и 0,1%-ной обеспеченности.

Техническая постановка задачи

Исходные данные для выполнения работы лежат в папке **C:\Tasks\Flood**.

В начале работы необходимо создать свою рабочую область и скопировать в нее исходные данные, а также изучить эти данные. Для этого используйте приложение **ArcCatalog**. Запустите приложение **ArcCatalog**. Создайте в своей личной папке новую директорию и назовите ее **Flood**. Скопируйте все данные из папки **C:\Tasks\Flood**, в свою новую рабочую область.

Изучите исходные данные, используя функцию **Просмотра** в ArcCatalog. Исходные данные находятся в двух папках: **Raster** и **Scale10**. В папке Raster находятся отсканированные растровые карты масштаба 1:10000 в формате **.bmp**. В папке **Scale10** находятся векторные слои, полученные в результате оцифровки растровых карт:

- aqua_a_10_region.shp – озера;
- height_p_10_points.shp – точки высот;
- horizont_l_10_lines.shp – изолинии высот;
- stream_l_10_lines.shp – реки (линейные объекты);
- street.shp – улицы;
- stream_a_10_region.shp – реки (полигональные объекты);
- model.shp – кусочно-линейная модель водной поверхности в виде плоскостей. Она составлена на основе полигональных объектов, со значениями атрибута высоты, равными урезу водной поверхности реки в межень с учетом уклона русла.

Создайте в папке **Flood** в своей рабочей области новую папку с названием **DEM**, куда будут сохраняться цифровые модели рельефа.

Закройте приложение **ArcCatalog**. Запустите приложение ArcMap и добавьте в проект все исходные данные из папки **Flood** в своей рабочей области.

Все исходные слои привязаны в локальную систему координат с условным нулем, которая в ArcMap не распознается. Поэтому при добавлении данных появляется предупреждение о том, что у исходных данных отсутствует информация о пространственной привязке и они не могут быть спроецированы.

Переименуйте слои в проекте в соответствии с теми названиями, которые указаны выше (озера, точки высот, изолинии высот).

Настройте отображение слоев:

- слой озер - заливка синего цвета, без контура;
- слой рек (полигональных объектов) - заливка синего цвета, без контура;
- слой рек (линейных объектов) – линия синего цвета, толщина линии - 2;
- слой горизонталей высот – линия коричневого цвета, толщина линии - 0,1.

Для определения контуров зоны затопления территории необходимо построить цифровую модель рельефа (ЦМР). Все исходные данные для построения ЦМР (изолинии, точки высот, речная сеть, озера) имеются в наличии.

Рельеф может быть представлен как в векторной, так и в растровой модели данных, а также в триангуляционной модели (TIN, Triangulated Irregular Network), которая строится на основе метода триангуляции Делоне. **Модель TIN** весьма удобна для отображения рельефа в трехмерном виде, характеризуется высокой точностью. В программном пакете ArcGis для создания **TIN** используется модуль **3D Analyst**. Для создания ЦМР нужно использовать как изолинии, так и данные об экстремумах рельефа (точки высот). Модель, построенная таким способом, в целом имеет высокую точность и пригодна для решения практических задач. Основным ее недостатком является так называемый «эффект террас», характерный для участков с небольшими уклонами.

Для создания **TIN модели рельефа** запустите **ArcToolBox** и выберите группу инструментов **3D Analyst**, подгруппа **Управление данными, TIN**, инструмент **Создать TIN**.

Для создания TIN используйте высотные отметки и изолинии рельефа, а систему координат выходной TIN импортируйте из входных данных (рис. 2.1). Просмотрите полученный результат. Максимальная высота исследуемого участка должна составлять 275 м, минимальная – 118,4 м.

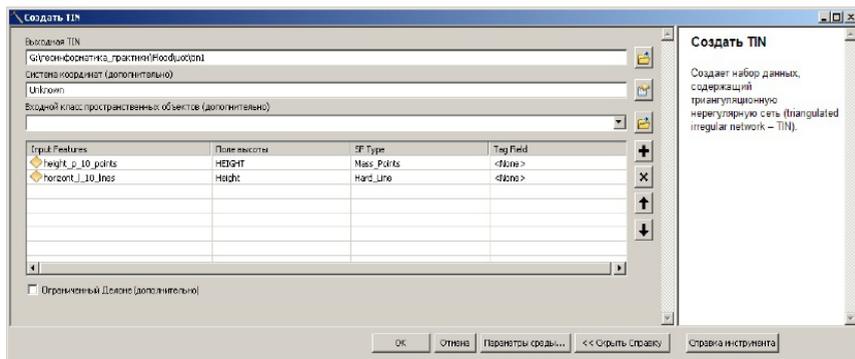


Рис. 2.1. Создание TIN-модели рельефа с помощью 3D Analyst.

Для конвертации TIN в растр воспользуйтесь инструментом **TIN в растр** группой инструментов **3D Analyst** (группа инструментов **Конвертация**, подгруппа из **TIN**). При этом необходимо задать размер ячейки выходного растра 2 м (поскольку входные данные имеют масштаб 1:10000, а сечение горизонталей составляет 2,5 м, что обеспечивает высокую точность построенной цифровой модели рельефа) и сохранить выходной растр с названием **DEM1.tif**.

Просмотрите полученный результат. Максимальная высота исследуемого участка должна составлять 275 м, минимальная – 118,4 м.

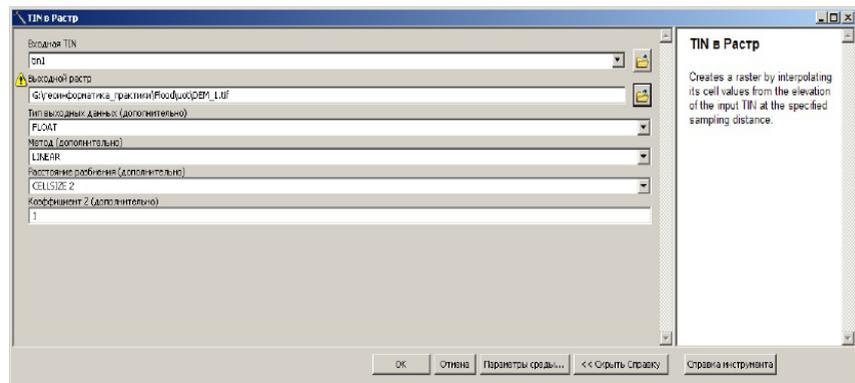


Рис. 2.2. Конвертация из TIN в растр

выберите **Height**, сохраните результат в папку **Grid** с названием файла **Model.tif** (рис. 2.4).

Вычисление зон затопления осуществляется с помощью **Растрового калькулятора**. Для этого необходимо знать уровни подъема воды при прохождении половодий и паводков различной обеспеченности. Уровни воды в относительных отметках приведены ниже (табл. 2.1.).

Таблица 2.1

Расчетные уровни воды при прохождении половодий и паводков высокой обеспеченности на р. Сылве в с. Усть-Кишерть

Обеспеченность, % (повторяемость)	Подъем уровня воды в относительных отметках, см
Весеннее половодье	
5% (1 раз в 20 лет)	671
1% (1 раз в 100 лет)	736
0,1% (1 раз в 1000 лет)	786
Дождевые паводки	
671	206
736	336
786	471

Для выявления затопленной территории используются исходная цифровая модель рельефа и модель секущей плоскости водной поверхности при подъеме уровня воды на заданную высоту. Секущая плоскость должна также учитывать уклон реки, т.е. иметь постоянное понижение вдоль ее русла. В качестве такой модели в данном случае используется растр **Model.tif**, содержащий данные об урезах воды. Прибавляя с помощью **Растрового калькулятора** к данному растру значение ожидаемого подъема уровня воды (одинаковое по всей области расчета) и вычитая цифровую модель рельефа, можно определить область затопления (в которой результат вычисления окажется больше нуля).

Для расчета зоны затопления при половодье 0,1% обеспеченности введите в **Растровый калькулятор** соответствующее выражение (рис. 2.5.):

$$(\langle model.tif \rangle + 7.86 - \langle DEM_1.tif \rangle) < 0,$$

где **Model.tif** – значения урезков, 7,86 – заданная высота подъема уровня воды (из табл. 2.1), **DEM1.tif** – цифровая модель рельефа.

В результате вычисления будет создан бинарный растр, в котором значение «1» соответствует затопленной территории, а «0» – незатопленной.

Далее необходимо конвертировать полученный бинарный растр в векторное представление данных, чтобы использовать его для выполнения пространственных операций: например вычислять площади затопления, длину затопленных дорог, количество зданий попадающих в зону затопления и т.п. Для этого откройте таблицу атрибутов индексного растра и выделите строку, в которой **value=1**. Затем конвертируйте растр в полигоны, используя инструмент из группы **Конвертация – экспорт из растра**. Таким образом, конвертированы будут только выбранные значения, которые соответствуют зоне затопления. Сохраните результат в виде шейп-файла с названием **Spring_Flood_01.shp**, тип геометрии – **полигон**. В результате автоматической векторизации растра будет получен полигон зоны затопления половодьем 0,1% обеспеченности. Как видно, большая часть с. Усть-Кишерть в случае прохождения половодья обеспеченностью 0,1% будет затоплена. Настройте отображение полигонального слоя, используйте возможность задания прозрачности на вкладке **Отображение** в свойствах слоя. Задайте прозрачность слоя – 50%.

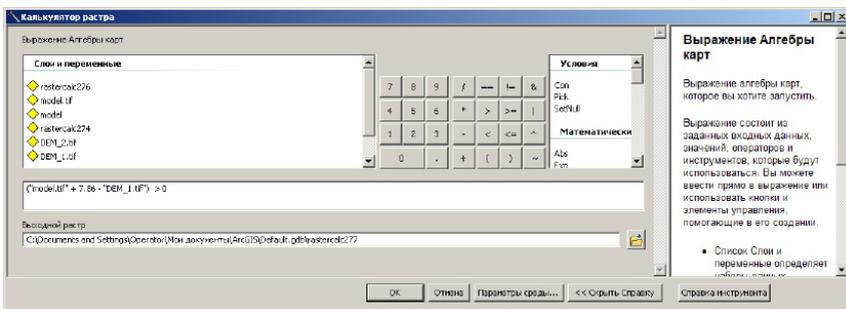


Рис. 2.5. Вычисление зоны затопления при подъеме уровня воды на 7,86 м (половодье 0,1% обеспеченности)

Слой зоны затопления может содержать 2 или более полигонов. Необходимо объединить их. Для этого просмотрите атрибутивную таблицу слоя **Spring_Flood_01**. Если в нем содержится два или более полигонов, начните его редактирование, выделите в нем все объекты, в меню **Редактор** выберите команду **Слияние**, и в открывшемся диалоге нажмите **ОК**. Все объекты в слое будут слиты в один полигон.

Используя данные, приведенные в табл. 2.1, аналогичным образом постройте зоны затопления при прохождении половодий

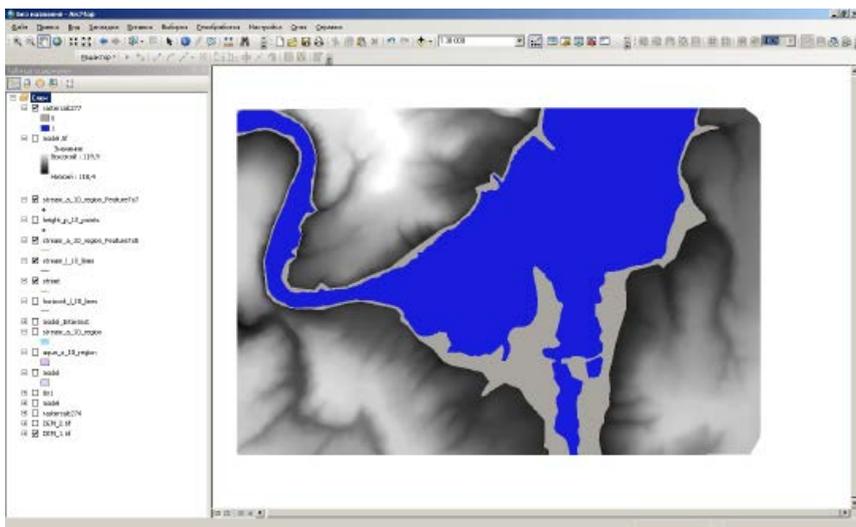


Рис. 2.6. Результат расчета зоны затопления при подъеме уровня воды на 7,86 м (половодье 0,1% обеспеченности)

1%-ной и 5%-ной обеспеченности, дождевых паводков 0,1%-ной 1%-ной и 5%-ной обеспеченности. Не забывайте удалять из таблицы содержания промежуточные результаты вычислений и объединять полигоны в выходных слоях!

На основе результатов расчета создайте компоновку, включающую два фрейма данных, настройте отображение слоев, легенду, как на рис. 2.7. В компоновке должны присутствовать два фрейма данных, в одном из которых отображены слои зон затопления паводками, во втором – зоны затопления половодьями (табл. 2.2). Экспортируйте компоновку в формат *.jrg.

Таблица 2.2

Результирующие шейп-файлы должны иметь следующие названия

Название файла	Содержащаяся информация
flood_spring_01.shp	Зона затопления весеннего половодья 0,1% обеспеченности
flood_spring_1.shp	Зона затопления весеннего половодья 1% обеспеченности
flood_spring_5.shp	Зона затопления весеннего половодья 5% обеспеченности
flood_rain_01.shp	Зона затопления дождевого паводка 0,1% обеспеченности
flood_rain_1.shp	Зона затопления дождевого паводка 1% обеспеченности
flood_rain_5.shp	Зона затопления дождевого паводка 5% обеспеченности

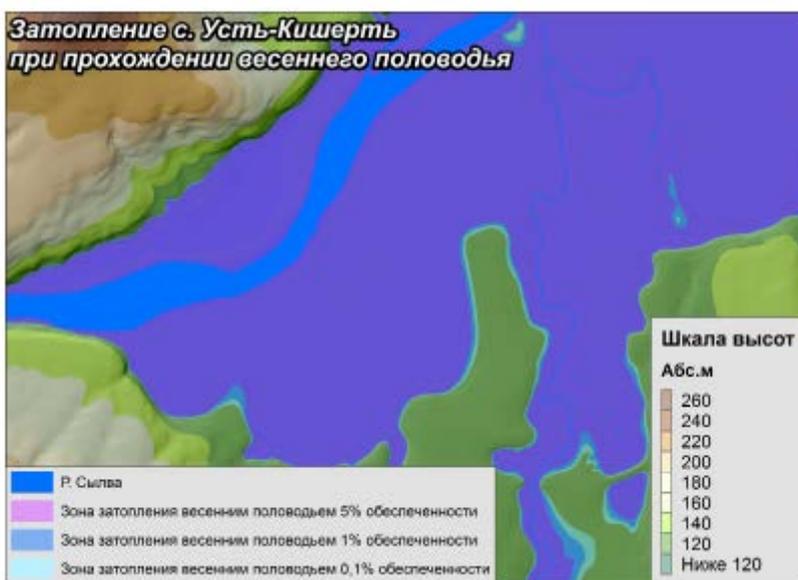


Рис. 2.7. Готовая компоновка карты

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3

ВЫДЕЛЕНИЕ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Теоретические основы

В период прохождения весеннего половодья на реках Пермского края часто происходит выход воды на пойму и затопление обширных территорий. Частичному затоплению при прохождении половодий высокой обеспеченности подвергаются десятки населенных пунктов Пермского края, в том числе города Кунгур, Александровск, Чусовой, участки территории г. Перми в пойме р. Кама.

Данные дистанционного зондирования Земли позволяют не только наблюдать развитие половодья, но и получать оперативный прогноз затопления, оценивать причиненный ущерб, выявлять участки, которым угрожает затопление, выбирать места для создания защитных дамб [Примеры применения, 2005].

Космический мониторинг паводковой обстановки, как и другие виды мониторинга, подразделяется на региональный и локальный. При решении задач мониторинга на локальном уровне, как правило, требуется регулярное получение снимков высокого и сверхвысокого разрешения, что технически не всегда возможно. Кроме того, отрицательным фактором является использование аппаратуры, работающей в оптическом и ИК диапазонах. Облачность делает невозможной сканерную съемку поверхности Земли. Весной, в период прохождения половодья, процент облачных дней обычно высок, что существенно осложняет мониторинг. В связи с этим в последние годы для мониторинга прохождения половодья широко применяются независимые от облачности радарные данные [Копылов, 2008].

При ведении мониторинга на региональном уровне вполне пригодны данные общедоступных (LANDSAT-7, 8) или коммерческих (UK-DMC2) съемочных систем, работающих в оптическом и ИК диапазонах. В совокупности они обеспечивают покрытие территории снимками раз в несколько дней и оперативное отслеживание динамики развития половодья (в случае преобладания малооблачной погоды).

Составной частью космического мониторинга прохождения половодья на региональном уровне может быть также оценка динамики снежного покрова по общедоступным данным Terra/Aqua MODIS.

Техническая постановка задачи

По разновременным снимкам со спутника **LANDSAT-5**, за период весеннего половодья и летней межени, необходимо выделить зоны затопления в поймах рек Чусовая, Усьва, Косьва и Яйва на 30 апреля 2001 г. Используя оверлейные операции, составить списки населенных пунктов, подвергшихся затоплению, а также вычислить процент затопленной территории для каждого населенного пункта. Вычислить длину затопленных дорог по типам. Составить компоновку карты.

Исходные данные для выполнения работы находятся в папке **C:\Tasks\Monitoring**. Векторные топографические слои (речная сеть, дорожная сеть, населенные пункты, водосборы рек, границы Пермского края) находятся в папке **Топо**, космические снимки – в папке **LANDSAT**.

В папках **LE71660192001120SGS00** и **LT51660192010201KIS02[1]** содержатся космические снимки **LANDSAT-5 TM** и **LANDSAT-7 ETM+**, полученные в таком формате из архива **USGS** – Геологической службы США (данные доступны через систему поиска и заказа снимков www.glovis.usgs.gov). Каждый спектральный канал снимка хранится в отдельном растровом файле с расширением *.tif, всего их семь. Отдельно в текстовых файлах хранятся метаданные съемки и опорные точки. Название каждого канала включает имя спутника (LT5 или LE7), идентификатор зоны (Path/Row – 166019), дату съемки в формате ггггммдд, номер канала (B10 – B70).

Сканер Thematic Mapper (TM), установленный на борту спутника Landsat-5, вел съемку в семи зонах спектра, характеристика которых представлена ниже (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Характеристика спектральных каналов спутника Landsat, прибора TM

Номер канала	Пространственное разрешение, м	Начало, нм	Конец, нм
1	30	450	520
2	30	520	605
3	30	630	690
4	30	760	900
5	30	1550	1750
6	120	10400	12500
7	30	2080	2350

включать имя сенсора, дату съемки и характеризовать синтез каналов (**LT7_20010430_543.tif**). Процесс объединения каналов может занять некоторое время.

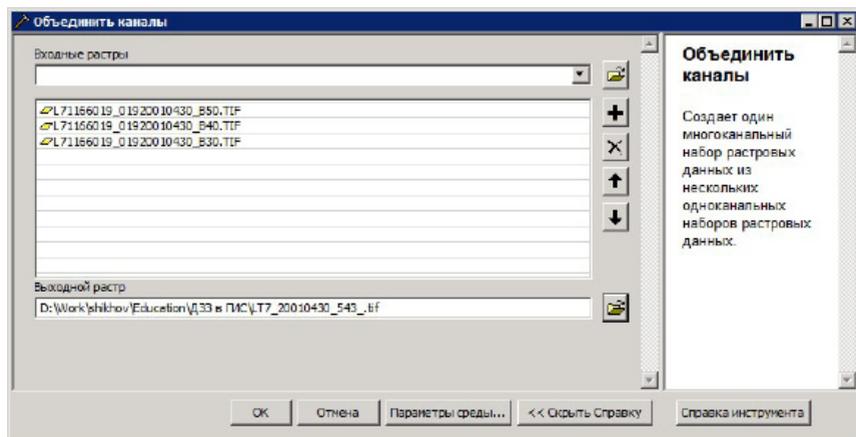


Рис. 3.2. Объединение каналов снимка

После окончания расчета будет создан **трехканальный RGB-композит**. Входные растровые каналы можно выключить, но не удалять из проекта.

В свойствах выходного растра перейдите на вкладку **Символы** и установите тип растяжки – **Ср. Кв. Отклонение, 2**.

Приблизьте изображение в районе г. Чусовой и обратите внимание на затопление поймы реки (рис. 3.3). Открытая вода в данном синтезе каналов имеет темно-синий цвет. Снимок сделан на пике высокого половодья 2001 г.

Теперь добавьте в проект те же каналы снимка за период летней межени 2010 г. и аналогичным образом объедините его каналы. Выходной растр назовите **LT5_20100720_543.tif**. После окончания расчета выключите входные растры, но не удаляйте их из проекта. Переместите в таблице содержания снимок за апрель 2001 г. выше снимка за июль 2010 г., остальные растры выключите. Обратите внимание на значительную разницу уровней воды в реках.

Поскольку водные объекты в пространстве спектральных признаков резко отличаются от других природных объектов, их автоматизированное выделение не представляет большой сложности. Существует несколько методов автоматического проведения границы суши и воды, они основаны на чрезвычайно низкой

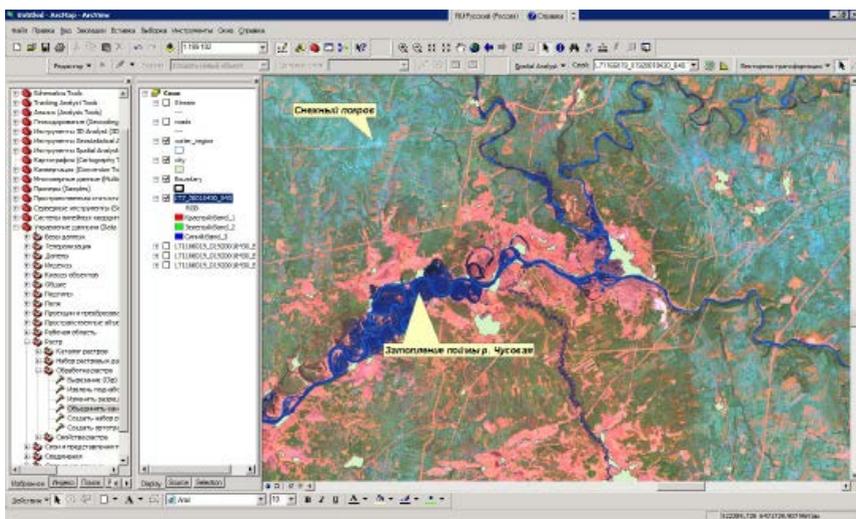


Рис. 3.3. Затопление поймы р. Чусовая на снимке LANDSAT-7 (30.04.2001 г.)

отражательной способности воды в ближнем и среднем ИК диапазонах спектра. Для автоматического выделения водных объектов можно использовать даже прямой анализ яркости в ближнем и среднем ИК каналах. Еще эффективнее методы, основанные на неуправляемой классификации.

В данной работе предлагается определить границу суши и воды (создать маску воды) на основе **вегетационного индекса NDVI**. Индекс NDVI рассчитывается по известной формуле

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED).$$

Поскольку яркость воды в оптическом диапазоне падает с увеличением длины волны и в ближнем ИК канале становится почти равной нулю (за исключением случаев «цветения» воды), то и ее NDVI будет намного ниже, чем у других природных объектов.

Для расчета NDVI запустите **Растровый калькулятор**. Поскольку исходные растровые каналы снимка LANDSAT имеют целочисленный тип пиксела (**integer**), для корректного расчета необходимо поменять его на **float** (значения с плавающей запятой). В связи с этим выражение для расчета **NDVI** в **Растровом калькуляторе** будет выглядеть так (рис. 3.4).

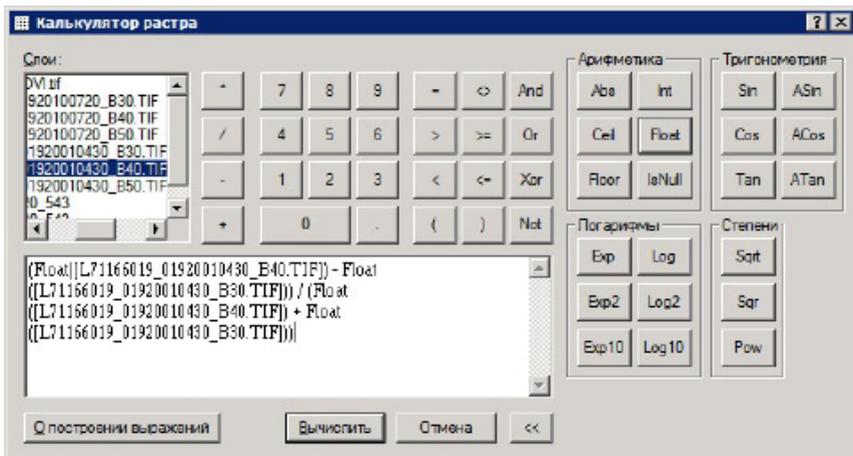


Рис. 3.4. Расчет NDVI в растровом калькуляторе

Полученный растр экспортируйте с названием **20010430_NDVI.tif** (рис. 3.5). Аналогичным образом вычислите NDVI по снимку за июль 2010 г. и также сохраните результат.

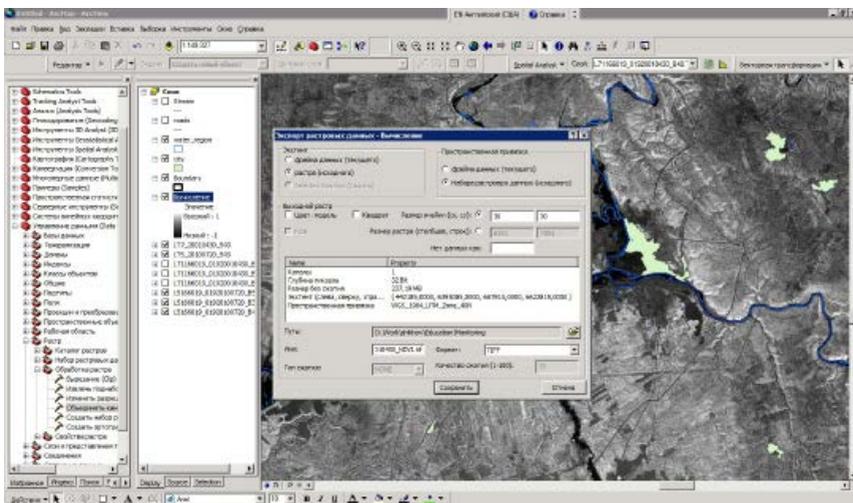


Рис. 3.5. Экспорт растра NDVI

Обратите внимание на то, что отрицательные значения NDVI соответствуют только водным объектам. Все остальные объекты на снимке имеют положительные значения NDVI, т.е. их яркость в ближней ИК зоне выше, чем в красной. Таким образом, водные объекты и сушу можно разделить по пороговому значению NDVI.

Введите в **Растровый калькулятор** выражение

$$20100720_NDVI.tif < 0.$$

В результате будет получен бинарный растр (маска воды) в межень, в котором значение «1» соответствует воде, а «0» – суше. На весеннем снимке порог NDVI, отделяющий сушу от воды, существенно ниже и составляет около $-0,45$. Этот порог является индивидуальным для каждого снимка (зависит главным образом от сезона съемки и прозрачности атмосферы, а также от мутности воды).

Вычислите маску воды по весеннему снимку, используя выражение

$$20010430_NDVI.tif < -0,45.$$

Полученные бинарные растры имеют атрибутивную таблицу. Откройте атрибутивную таблицу растра маски воды, созданную по весеннему снимку, и выделите строку со значением «1» (вода) (рис. 3.6)

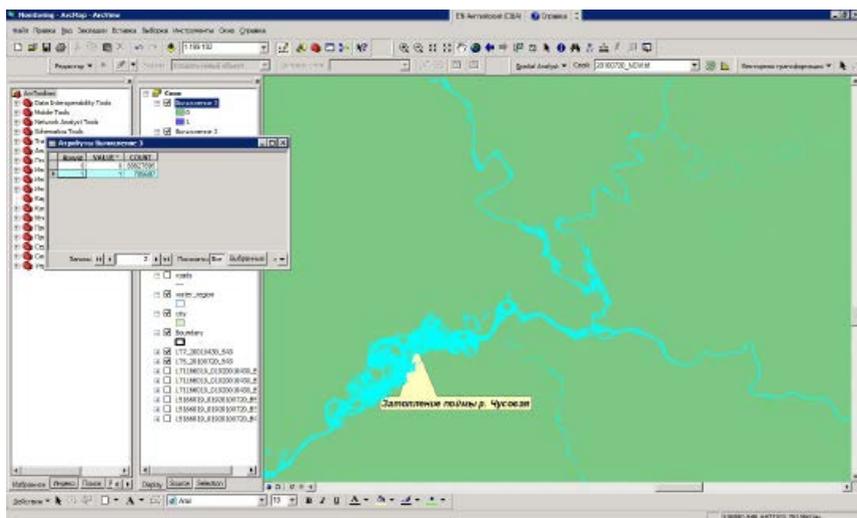


Рис. 3.6. Маска воды, полученная по весеннему снимку

Векторизуйте их с помощью инструмента конвертации растра в вектор (группа инструментов **Конвертация – Экспорт из растра – Растр в полигоны**). Аналогичным образом векторизуйте маску воды по летнему снимку. Полученные векторные слои назовите, соответственно, **Water_20010430.shp** и **Water_20100720.shp**. Таким образом, созданы векторные слои водной поверхности в межень и в половодье. Чтобы вычислить собственно площадь зоны затопления, необходимо рассчитать с помощью **Растрового калькулятора** разность масок воды, а затем аналогичным образом векторизовать полученный результат. Результирующий шейп-файл назовите **Flood_20010430.shp**. Таким образом будет получен контур зоны затопления 30 апреля 2001 г. по снимку **Landsat-7 ETM+** (рис 3.7).

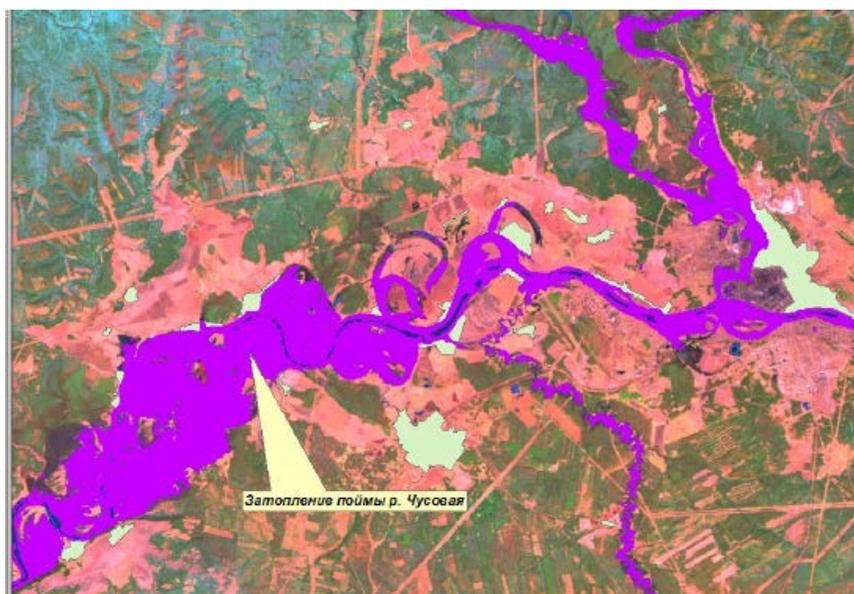


Рис. 3.7. Зона затопления, определенная по космическим снимкам

Определите площадь затопленных территорий и перечень населенных пунктов, подвергшихся затоплению, по бассейнам рек (Чусовая – Верхнечусовские Городки, Яйва – Усть-Игум и Косьва – Останино (Перемское). Для этого сначала необходимо вырезать исходные данные – слои зоны затопления и населенных пунктов, по контурам бассейнов (**ArcToolBox – Анализ – Извлечение – Вырезание (Clip)**).

Далее, для упрощения обработки данных желательно объединить все векторные объекты в слое затопления в один полигон.

Для выполнения этой операции воспользуйтесь инструментом **Слияние** (группа инструментов **Управление данными**, подгруппа **Генерализация**).

Выполните пространственное соединение слоев населенных пунктов и зон затопления, предварительно вырезанных по контурам бассейнов (рис. 3.8). Инструмент находится в группе **Анализ**, подгруппа **Наложение**. В результате операции пространственного соединения будет получен слой населенных пунктов, в той или иной степени подвергшихся затоплению (**City_flooded.shp**). Большинство из них затоплены незначительно.

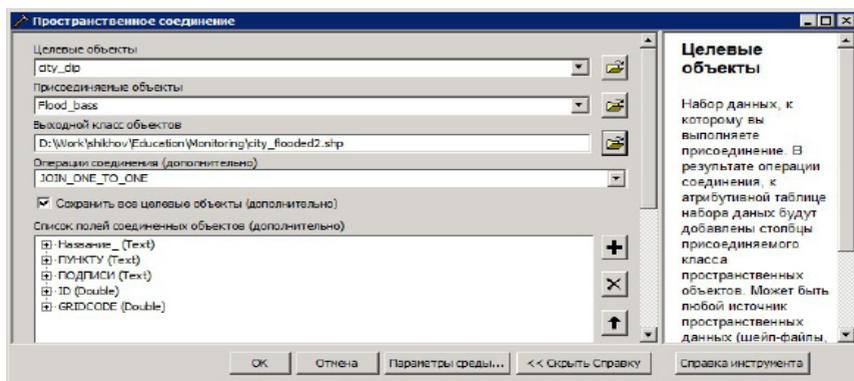


Рис 3.8. Пространственное соединение слоев населенных пунктов и зон затопления

Чтобы установить, насколько существенная часть территории каждого из населенных пунктов подверглась затоплению, необходимо вычислить затопленную площадь и ее долю от общей площади для каждого населенного пункта.

Для этого сначала вычислите площадь всех населенных пунктов, в той или иной степени подвергшихся затоплению. В атрибутивной таблице слоя **City_flooded.shp** создайте новое поле **Area** и вычислите в нем площадь объектов в гектарах, используя контекстное меню поля «Вычислить геометрию» (рис. 3.9).

Далее вычислите затопленную площадь в пределах каждого населенного пункта. Воспользуйтесь для этого инструментом **Пересечение**. Инструмент также находится в группе **Анализ**. Выполните пересечение слоя затопленных населенных пунктов со слоем зоны затопления. В результате будут вырезаны только затопленные фрагменты населенных пунктов, однако исходные значения их площади сохраняются в поле **Area**.

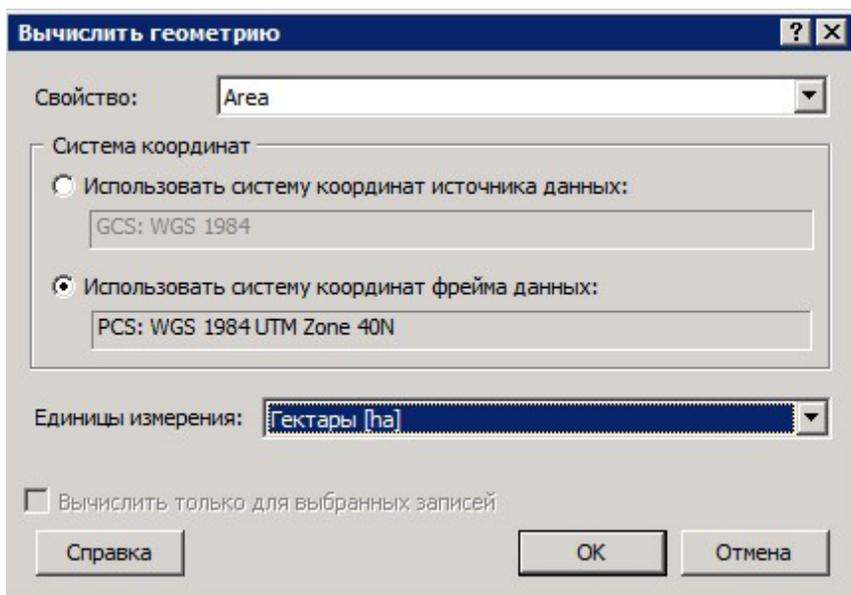


Рис. 3.9. Расчет общей площади населенных пунктов

Добавьте в полученный слой новое поле **Area_Flooded**, тип поля **Float**. Вычислите в нем площадь объектов в гектарах. Таким образом, будет вычислена затопленная площадь в пределах каждого населенного пункта.

Добавьте еще одно новое поле типа **Float** и с помощью **Калькулятора поля** вычислите в нем долю затопленной площади от общей площади населенного пункта (рис 3.10).

Теперь эти данные нужно присоединить к исходному слою населенных пунктов (вырезанному по контуру бассейнов рек). Присоединение атрибутивной таблицы выполните по полю **Подписи**, содержащему названия населенных пунктов.

После присоединения атрибутивной таблицы перейдите в свойствах слоя населенных пунктов на вкладку **Символы** и настройте отображение по полю, содержащему процент затопленной территории, следующим образом:

Затопление отсутствует

Возможно незначительное затопление (от 0% до 2% площади)

Незначительное затопление (затоплено от 2 до 10% территории)

Значительное затопление (от 10 до 50% территории)

Сильное затопление (более половины общей площади)

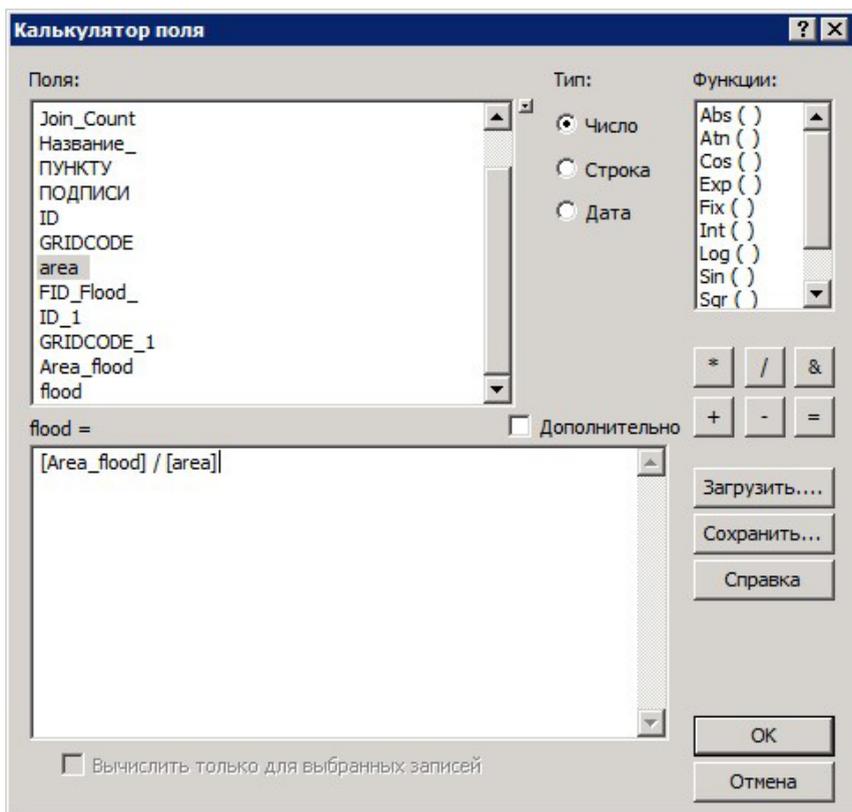


Рис 3.10. Расчет доли площади затопления от общей площади населенного пункта

Пример полученной легенды приведен на рис. 3.11. Как видно из результирующей атрибутивной таблицы, наиболее существенному затоплению, в процентах от общей площади, подверглись населенные пункты, расположенные вдоль р. Чусовая.

Чтобы определить перечень затопленных населенных пунктов по речным бассейнам, выполните пространственное соединение слоя населенных пунктов, подвергшихся затоплению, со слоем водосборов, а затем суммируйте количество населенных пунктов по бассейнам рек. Более половины всех затопленных населенных пунктов приходится на бассейн р. Чусовая.

Чтобы вычислить **суммарную длину** затопленных дорог, выполните **вырезание** слоя дорог по слою **зоны затопления**. Затем создайте в слое дорог новое поле **Area** и вычислите **длину дорог** в километрах. Суммируйте длину затопленных участков по полю

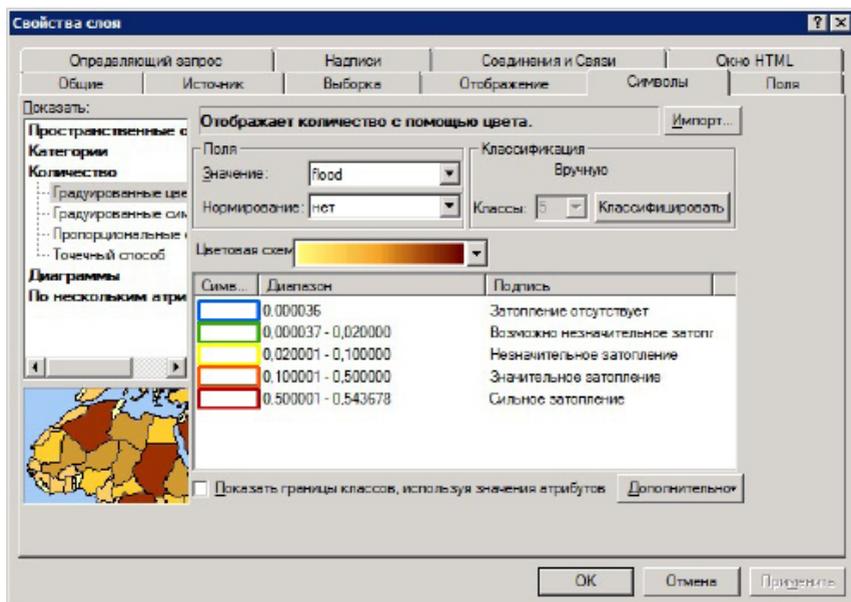


Рис 3.11. Легенда для отображения населенных пунктов, подвергшихся затоплению

Название, содержащему типизацию дорог.

Создайте компоновку карты, включающую космический снимок за 30 апреля 2001 года, векторные слои речных бассейнов, затопленных населенных пунктов (с подписью названий) и дорожной сети. Дополнительно подготовьте текстовый отчет, включающий следующую информацию:

- Количество подвергшихся затоплению населенных пунктов по бассейнам рек.
- Перечень населенных пунктов, подвергшихся значительному или сильному затоплению, по бассейнам рек.
- Длина дорог (шоссейных, усовершенствованных шоссежных, улучшенных грунтовых дорог), подвергшихся затоплению.
- Общая площадь затопленной территории по бассейнам рек (для ее вычисления необходимо выполнить пересечение слоя бассейнов и зоны затопления).

Пример результата работы приведен на рис. 3.12.

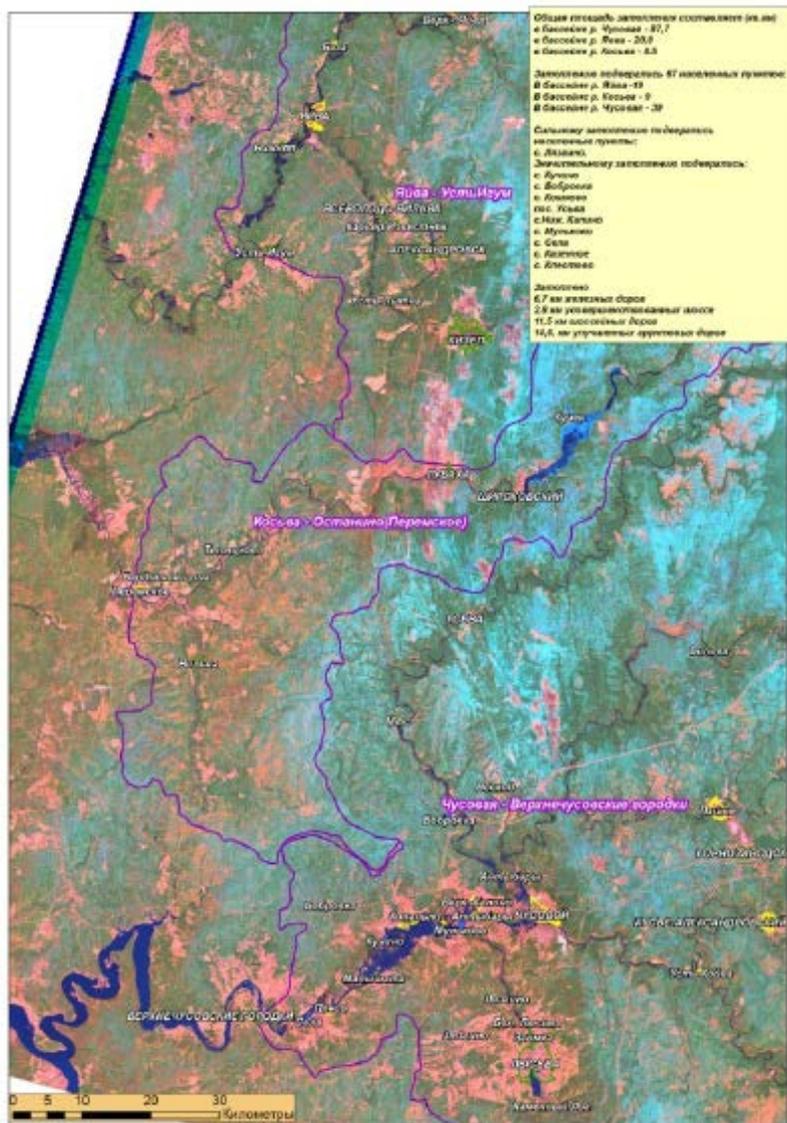


Рис. 3.12. Снимок с нанесенной дополнительной информацией

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

ПРИМЕНЕНИЕ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЛЕЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Теоретические основы

Интерполяция – это восстановление значений ячеек растра на основании ограниченного числа точек измерений. С разной степенью точности интерполяцию можно использовать для вычисления неизвестных значений любых географических точечных данных: высоты над уровнем моря, концентрации химических веществ, уровня шума и т.д. Предположение, позволяющее проводить интерполяцию, состоит в том, что пространственно распределенные объекты пространственно связаны; другими словами, близкие объекты обладают сходными характеристиками.

Существуют две основные группы методов интерполяции: детерминированные и геостатистические. Детерминированные методы интерполяции строят поверхность по опорным точкам, основываясь либо на степени схожести точек выборки (метод взвешенных расстояний), либо на степени, сглаживания (радиальные базисные функции). Геостатистические методы интерполяции (кригинг) используют статистические свойства опорных точек. Геостатистические методы количественно определяют пространственную корреляцию между опорными точками и учитывают расположение опорных точек в пространстве вокруг искомой точки [Руководство, 2004].

Детерминированные методы интерполяции могут быть разделены на две группы: глобальные и локальные. Глобальные методы вычисляют искомые значения с использованием всего набора данных. Локальные методы используют для вычисления искомых значений только опорные точки, расположенные в окрестностях искомой.

Поверхность, построенная с использованием детерминистских методов, может как проходить, так и не проходить через опорные точки. Метод интерполяции, который дает в опорной точке значение, равное измеренному, носит название жесткого интерполятора. Нежесткий интерполятор в опорной точке дает значение, отличное от измеренного (т.е. аппроксимирует значение в опорной точке). Последнее позволяет избежать острых пиков или впадин на результирующей поверхности. Метод взвешенных расстояний и радиальные базисные функции являются жесткими интерполяторами, в то время как глобальные и локальные полиномы - нежесткими интерполяторами.

В модуле Spatial Analyst реализованы три метода интерполяции – метод обратного взвешенных расстояний, сплайн-интерполяция и Кригинг. Значительно большее число методов интерполяции реализовано в модуле Geostatistical Analyst (Мастер операций геостатистики).

При обработке данных гидрометеорологических наблюдений также нередко возникает необходимость их интерполяции. Но нужно учитывать некоторую специфику этих данных, прежде всего низкую плотность точек наблюдений. В результате далеко не все особенности полей гидрометеорологических величин (распределения температуры и влажности воздуха, количества осадков, запаса воды в снежном покрове) фиксируются наблюдательной сетью. Вследствие этого результаты интерполяции не всегда могут быть корректными. Для повышения достоверности результатов интерполяции необходимо учитывать зависимости метеовеличин от высоты местности.

В данной работе рассматриваются методы интерполяции климатических данных и данных оперативных метеорологических наблюдений (температуры воздуха, сумм осадков, запасов воды в снеге) с учетом влияния рельефа.

Техническая постановка задачи

Исходные данные для выполнения работы находятся в папке **C:\Tasks\Interpolation**. Запустите приложение **ArcCatalog** и просмотрите векторные слои и их атрибутивные таблицы:

- **Boundary.shp** – граница Пермского края
- **Water.shp** – контуры водохранилищ
- **Wood.shp** – растительность
- **T2m.shp** – слой метеостанций Пермского края и сопредельных территорий с данными о среднесуточной температуре воздуха за апрель 2011 г.
- **Bass.shp** – слой бассейнов крупных рек
- **Снегосъемки_лес.shp** – данные полевых снегомерных съемок в лесу за 31 марта 2011 г. (средний запас воды в снеге на маршруте, приведен в поле SWE_3103)
- **Снегосъемки_поле.shp** – данные полевых снегомерных съемок в поле за 31 марта 2011 г. (средний запас воды в снеге на маршруте, приведен в поле SWE_3103).
- DEM1000.img** – цифровая модель рельефа территории

Пермского края с разрешением 1 км.

В базе геоданных **Нормы.mdb** приведены исходные данные для создания климатических карт (слой метеостанций и область анализа).

В файле **Нормы.xls** приведены климатические нормы температуры воздуха, сумм осадков, влажности воздуха, продолжительности солнечного сияния за период 1971-2000 гг.

В папке **T850_norm** находятся данные о климатической норме температуры воздуха на изобарической поверхности AT850 (высота около 1,5 км) за каждый месяц года.

Данные в растровом формате *.img.

Интерполяция климатических данных

В настоящее время ГИС-технологии могут применяться для создания климатических карт. Однако при интерполяции таких данных необходимо учитывать некоторые их особенности, в частности плотность наблюдательной сети, высотные зависимости и т.д. В противном случае результат интерполяции будет содержать ошибки и артефакты (т.е. особенности полученной поверхности, не свойственные рассматриваемому явлению в природе) [Коновалова, 2006]. Рассмотрим процесс картографирования климатических характеристик на примере среднемесячных значений температуры воздуха и сумм осадков в Пермском крае.

Для выполнения работы запустите приложение **ArcMap**.

Добавьте в проект следующие исходные данные из папки **C:\Tasks\Interpolation**:

- все слои из базы геоданных **Нормы.mdb**;
- цифровую модель рельефа;
- таблицы со значениями климатических норм из файла **Нормы.xls**.

Отобразите полигональные слои границ Пермского края (**Boundary.shp**) и область расчета (**Mask.shp**) без заливки. Подпишите названия метеостанций по полю **Name**. Для выполнения корректной интерполяции необходимо использовать данные с метеостанций, расположенных не только в Пермском крае, но и за его пределами. В связи с этим берутся данные с 15 метеостанций

*Справка: метод **обратно взвешенных расстояний (ОВР)** обеспечивает вычисление значений ячеек по среднему от суммы значений соседей. Чем ближе точка к центру оцениваемой ячейки, тем больший вес, или влияние, имеет ее значение в процессе вычисления среднего. Этот метод предполагает, что влияние значения измеренной переменной убывает по мере увеличения расстояния от точки замера. Параметр степени позволяет контролировать влияние точек замеров на вычисление на основании их расстояния от ячейки. Метод удобно применять при высокой плотности точек измерений.*

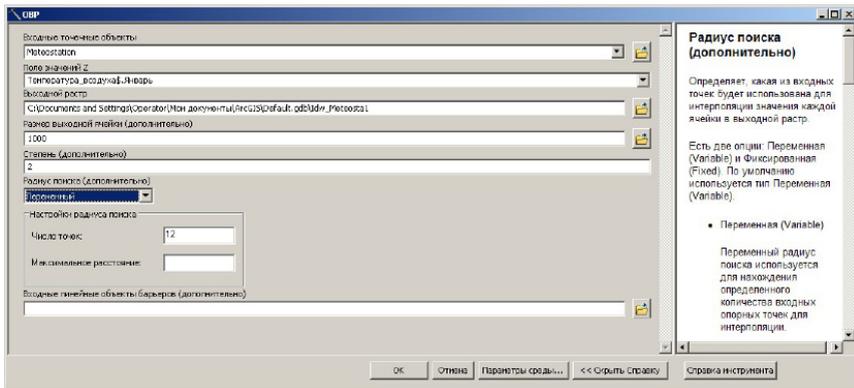


Рис. 4.2. Интерполяция средней температуры воздуха в январе методом ОВР

Результат интерполяции методом ОВР характеризуется наличием некоторых артефактов, например замкнутых областей пониженной температуры в районе метеостанции Бисер (рис. 4.3). Поэтому данный метод для работы с гидрометеорологической информацией обычно не используется.

Аналогичным образом, выполните интерполяцию средней январской температуры воздуха, используя методы **Регуляризованного** и **Натяжного Сплайна**.

*Справка: **сплайн** – это интерполяционный метод, позволяющий рас-считать значения ячеек на основе математической функции, минимизирующей кривизну поверхности. Сплайн вычисляет наиболее ровную поверхность, точно проходящую через все точки измерений. Этот метод наиболее удобен для медленно меняющихся поверхностей, таких как высота земной поверхности, уровень грунтовых вод, температура воздуха или концентрация вредных веществ.*

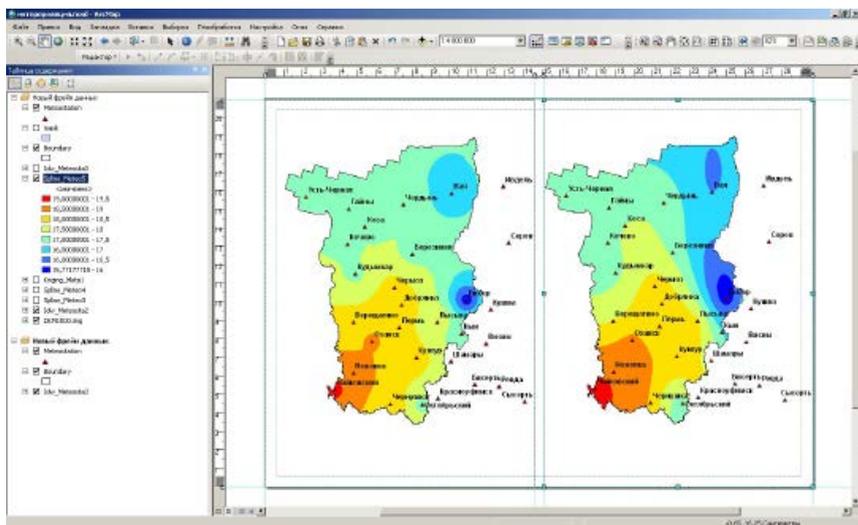


Рис. 4.4. Сравнение результатов интерполяции средней июльской температуры воздуха методами ОВР (слева) и натяжного сплайна (справа)

Известно, что при интерполяции температуры воздуха в горной местности (к которой относится восточная часть Пермского края) необходимо учитывать ее вертикальный градиент. Значения вертикального градиента температуры можно вычислить, зная температуру воздуха в приземном слое и на определенной высоте (по данным радиозондирования атмосферы или по выходным данным численной модели).

В данной работе для расчета вертикального градиента температуры воздуха используются климатические нормы температуры на изобарической поверхности 850 гПа (высота - около 1,5 км). Эти данные находятся в папке **T850_norm**. Добавьте в документ **ArcMap** данные за январь и июль (**T850_01.img** и **T850_07.img**).

Нетрудно заметить, что если в июле средняя температура воздуха на изобарической поверхности АТ850 намного ниже, чем в приземном слое, то для января характерна обратная ситуация. Для июля характерно нормальное распределение температуры с высотой (падение в среднем на 0,6° на каждые 100 м подъема), а для января – инверсионное.

Для интерполяции температуры воздуха с учетом ее вертикального градиента необходимо иметь следующие исходные данные:

- 1) данные метеостанций, фиксирующие температуру воздуха в приземном слое на высоте 2 м;

- 2) средний вертикальный градиент температуры в слое атмосферы, для которого проводится расчет (в данном случае это слой от земли до 850 гПа);
- 3) цифровую модель рельефа;
- 4) разность между высотой земной поверхности и высотами ближайших метеостанций для каждой ячейки растра ЦМР.

Последний растр можно вычислить двумя способами: определить ближайшие метеостанции, используя инструмент создания полигонов Тиссена и конвертировать их затем в растровый формат, используя в качестве атрибута поле высоты метеостанции **Height**, или проинтерполировать высоты метеостанций одним из методов «жесткой» интерполяции.

Сопоставьте результаты, которые можно получить этими двумя способами.

Создайте на основе слоя метеостанций полигоны Тиссена, для этого воспользуйтесь соответствующим инструментом из группы **Анализ – Близость**. При этом в выходной слой необходимо перенести все атрибуты метеостанций (рис. 4.5).

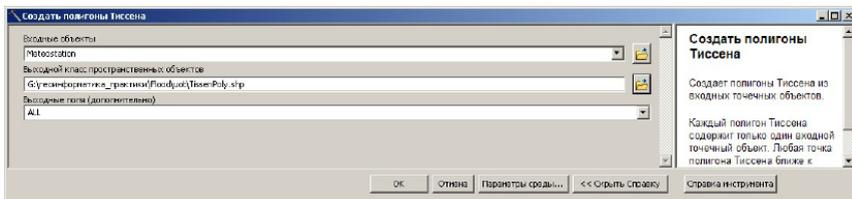


Рис. 4.5. Создание полигонов Тиссена на основе слоя метеостанций

Конвертируйте полученный слой в растр, используя в качестве поля значений высоту метеостанций (рис. 4.6).

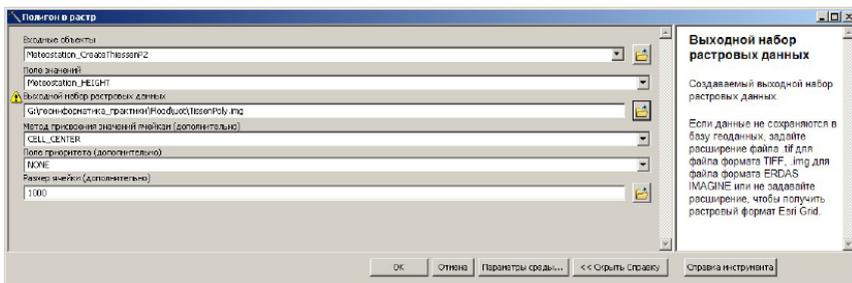


Рис. 4.6. Конвертация полигонов Тиссена в растр

Теперь имеются все данные для расчета температуры воздуха с учетом ее вертикального градиента. Для этого используется следующая формула:

$$T = T1 - 0,01\Delta T(H - Hst), \quad (1)$$

где T и $T1$ – температура воздуха, вычисленная соответственно, с учетом и без учета вертикального градиента;

ΔT – вертикальный градиент температуры воздуха, выраженный в °C/ 100 м высоты;

H – высота местности;

Hst – высота метеостанции.

Значение вертикального градиента умножается на 0,01, чтобы выразить его в градусах на 1 метр высоты.

В растровом калькуляторе данная формула будет выглядеть следующим образом:

$$\begin{aligned} & \langle \text{Spline_T2m} \rangle - (\langle \text{Spline_T2m} \rangle - \langle \text{T850_07.img} \rangle) \times 0.0008 \times \\ & \times (\langle \text{DEM1000} \rangle - \langle \text{TissenPoly} \rangle), \end{aligned}$$

где $\langle \text{Spline_T2m} \rangle$ – результат интерполяции температуры воздуха на высоте 2 м;

$\langle \text{T850} \rangle$ – результат интерполяции температуры воздуха на изобарической поверхности 850 гПа;

$\langle \text{DEM1000} \rangle$ – цифровая модель рельефа

$\langle \text{TissenPoly} \rangle$ – растр, содержащий значения высоты ближайшей метеостанции, построенный на основе полигонов Тиссена.

Коэффициент, равный 0,0008 (1/1200), имеет значение обратное средней толщине пограничного слоя атмосферы между земной поверхностью и изобарической поверхностью АТ850 в метрах.

Выполните расчет средней температуры воздуха в июле по данной формуле с помощью **Растрового калькулятора** (рис. 4.7).

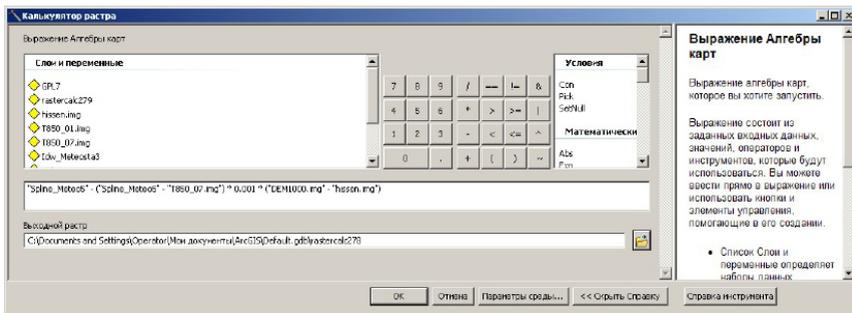


Рис. 4.7. Расчет средней температуры воздуха в июле с учетом ее вертикального градиента

Полученный результат будет выглядеть следующим образом (рис. 4.8). Как видно, использованный метод позволил учесть влияние рельефа, но использование полигонов Тиссена для определения высоты ближайшей метеостанции привело к появлению артефактов на границах полигонов.

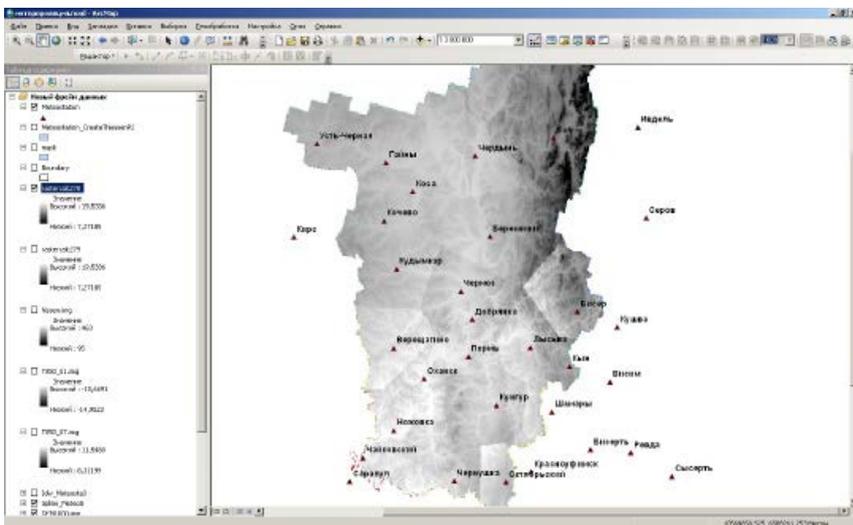


Рис. 4.8. Результат расчета средней июльской температуры воздуха с учетом ее вертикального градиента

В связи с этим предпочтительным является второй способ определения высоты ближайшей метеостанции – с помощью **жесткой интерполяции**.

Выполните интерполяцию высот метеостанций методом **натяжного сплайна**, сохраните результат интерполяции с названием **Station_Hetght.img**. Затем повторно вычислите среднюю температуру воздуха в июле на территории Пермского края по приведенной выше формуле, заменив использованный ранее растр высот метеостанций на новый растр **Station_Hetght.img**.

Настройте цветовую палитру для результата вычисления (цветовая шкала – от синего к красному). Сопоставьте результат интерполяции средней июльской температуры воздуха без учета и с учетом рельефа местности. Как видно, только второй способ позволяет восстановить поле температуры, близкое к реальному, и выявить области низкой средней температуры июля (ниже $+15^{\circ}$), существующие в горных районах, а также понижение температуры на $1-2^{\circ}$ на возвышенностях в сравнении с низменностями. Результаты интерполяции должен выглядеть следующим образом (рис. 4.9).

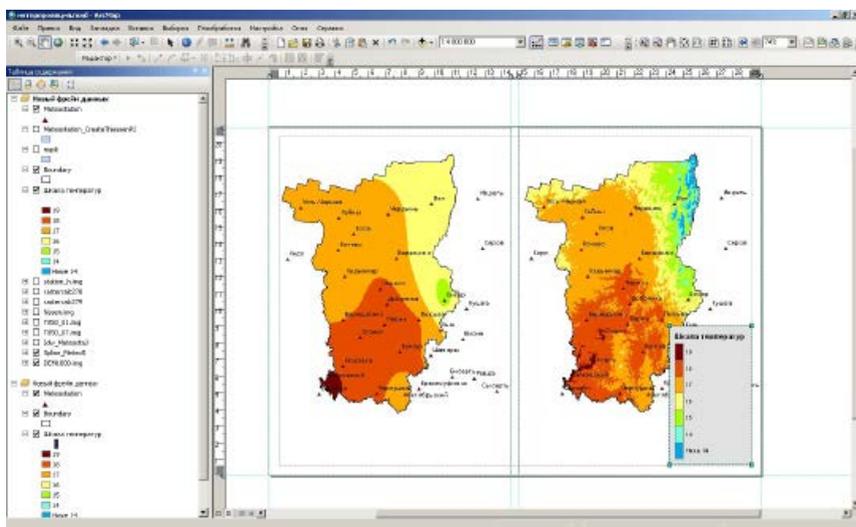


Рис. 4.9. Результат интерполяции средней температуры воздуха в июле без учета рельефа (слева) и с учетом рельефа (справа)

Аналогичным образом проинтерполируйте среднюю температуру воздуха в январе. Сопоставьте результаты интерполяции, полученные с учетом и без учета рельефа (рис. 4.10). Как видно, в январе при преобладании инверсионного распределения температуры с высотой влияние рельефа удается учесть не полностью, оно проявляется в основном в горных районах (в горах теплее, чем в долинах).

Аналогичным образом выполните интерполяцию средней температуры воздуха за все остальные месяцы года и сделайте выводы о влиянии на ее распределение вертикального градиента.

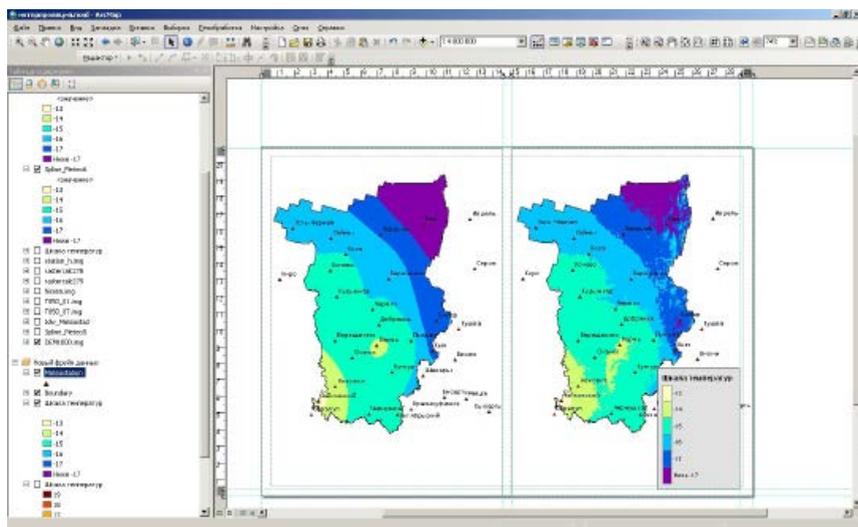


Рис. 4.10. Результат интерполяции средней температуры воздуха в июле без учета рельефа (слева) и с учетом рельефа (справа)

Интерполяция климатических данных об осадках

Осадки характеризуются исключительной неравномерностью пространственного распределения. Большое влияние оказывают на их распределение высоты, уклон и экспозиция склонов, шероховатость поверхности, наличие крупных водоемов. Все эти факторы при интерполяции данных редкой наблюдательной сети учесть невозможно, поскольку зависимости носят локальный характер [Шутов, 1997]. Однако учет при интерполяции даже только одного фактора – высоты местности, позволяет значительно улучшить результат.

Чтобы провести интерполяцию климатических данных об осадках

(климатические нормы за 1971-2000 гг.) можно использовать следующие допущения, подтверждающиеся анализом данных наблюдений: вертикальный градиент осадков в холодный период (ноябрь-март), а также в октябре составляет в среднем около 10%/100 м высоты, в период с мая по август – 5%/100 м высоты, в апреле и сентябре порядка 7-8%/100 м высоты.

Высотные зависимости лучше выражены для обложных осадков [Калинин, 2005]. Поэтому чем больше в месячной сумме осадков доля обложных, тем лучше выражена данная зависимость.

Для выполнения интерполяции климатических данных об осадках удалите присоединенную к слою метеостанций таблицу с данными о средней суточной температуре воздуха и присоедините таблицу с данными об осадках. Затем проинтерполируйте сумму осадков за январь **методами ОВР, натяжного сплайна и кригинга** со сферической моделью вариограммы и сравните полученные результаты.

Как видно, результат интерполяции методом **ОВР** характеризуется наличием артефактов (замкнутых впадин и пиков, не существующих в природе), а метод **кригинга** создает ступенчатую поверхность. Относительно более сглаженный результат обеспечивает **сплайн-интерполяция**, которую и используем в дальнейшей работе.

Интерполяция осадков с учетом высоты местности выполняется по методу, предложенному В.А.Шутовым (Шутов, 1997).

Сначала в атрибутивной таблице слоя метеостанций создайте новое поле типа Float, которое назовите **Prec_jan**.

С помощью **Калькулятора поля** вычислите в нем суммы осадков для каждой станции, «приведенные» к высоте 200 м с учетом высотной зависимости, которая принята равной 10%/100 м (рис. 4.11).

Затем проинтерполируйте полученный результат методом натяжного сплайна. Как видно, результат интерполяции «приведенных» осадков существенно отличается от результата интерполяции фактических данных.

Вычислите с помощью **Растрового калькулятора** по формуле норму осадков в январе с учетом высотной зависимости:

$$[Prec_200] + 0,001 * [Prec_200] * ([DEM1000.img] - 200), \quad (2)$$

где $[Prec_200]$ – результат интерполяции суммы осадков за январь, «приведенный» к высоте 200 м;

$[DEM1000.img]$ – цифровая модель рельефа,

0,001 – вертикальный градиент осадков,

200 м – высота, к которой была приведена сумма осадков на метеостанциях.

В результате будет получено поле накопленных осадков с учетом рельефа (рис. 4.12).

Результат расчета назовите **Precipitation_Janvier.img**.

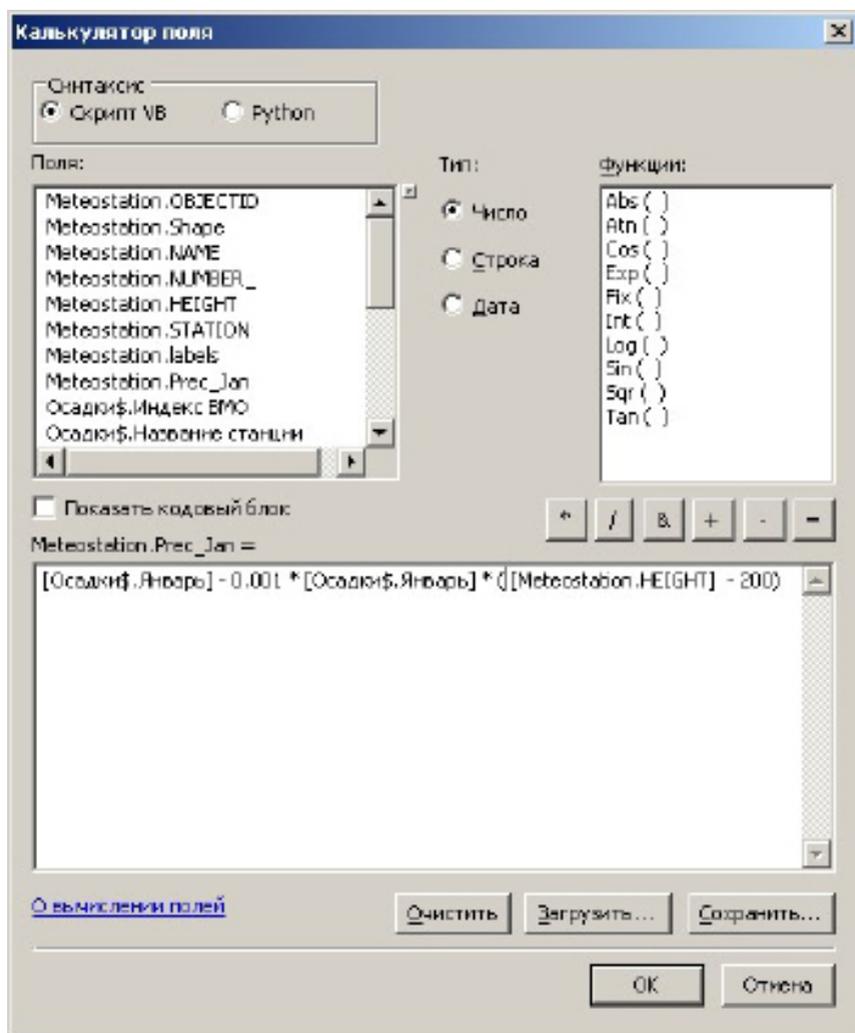


Рис. 4.11. Расчет сумм осадков, приведенных к высоте 200 м

Учет высотной зависимости сильно меняет результаты интерполяции данных об осадках. Настройте для результатов интерполяции данных об осадках за январь с учетом рельефа и без учета рельефа одинаковую цветовую палитру, и сопоставьте их. Как видно, наиболее существенные различия результатов интерполяции характерны для горных районов. Используемый метод интерполяции позволяет учесть влияние барьерного эффекта на распределение осадков по территории Пермского края.

Аналогичным образом, используя рассмотренные выше допущения о линейной зависимости сумм осадков от высоты местности, выполните интерполяцию сумм осадков с учетом рельефа за 12 месяцев. Сложив результаты с помощью **Растрового калькулятора**, рассчитайте также годовую норму осадков, норму осадков холодного (ноябрь-март) и теплого периода на территории Пермского края и оформите компоновку карт «Годовая сумма осадков», «Осадки холодного периода» и «Осадки теплого периода». Пример готовой карты приведен на рис. 4.13.

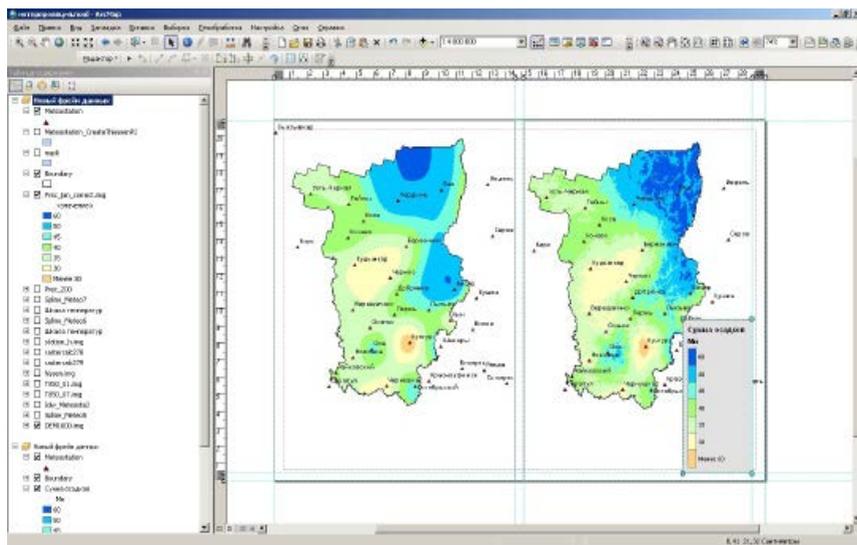


Рис. 4.12. Сопоставление результатов интерполяции нормы суммы осадков в январе, рассчитанной без учета рельефа (слева) и учетом рельефа (справа)

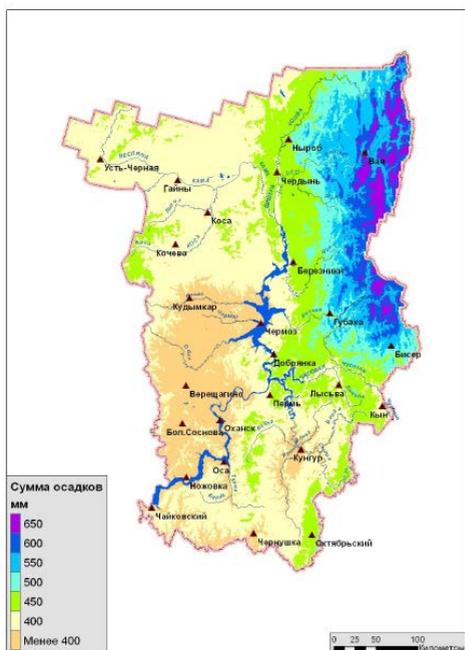
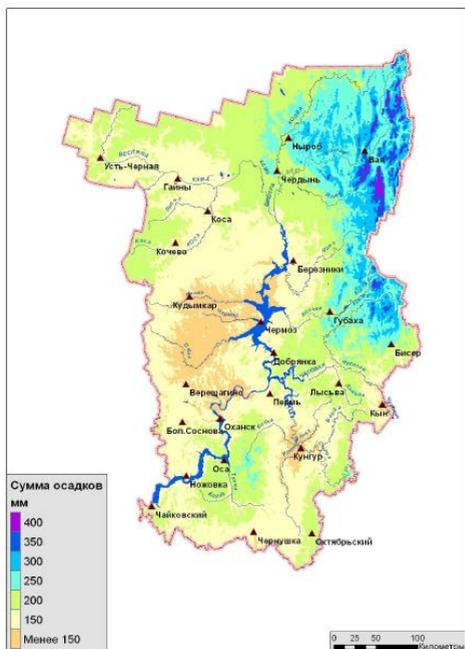


Рис. 4.13. Карты сумм осадков холодного периода (сверху) и теплого периода (снизу)

Интерполяция данных оперативных метеорологических наблюдений

Интерполяция данных оперативных наблюдений имеет много общего с интерполяцией климатических данных. Рассмотрим ее на примере данных о температуре воздуха в апреле 2011 г. Для этого удалите из документа ArcMap климатические данные и добавьте слой **T2m.shp**, в атрибутивной таблице которого содержатся данные о температуре воздуха в апреле 2011 г.

Для расчета вертикальных градиентов температуры воздуха по оперативным данным могут быть использованы *данные объективного анализа, например общедоступные данные модели GFS/NCEP*.

Модель GFS/NCEP – глобальная численная модель прогноза погоды, разрабатываемая Национальным центром атмосферных исследований США. Прогнозы на 192 ч выпускаются для всего земного шара 4 раза в сутки, с шагом по пространству 50 км, по времени – 3 ч. Прогнозные данные модели GFS/NCEP доступны в оперативном режиме для скачивания с сервера NOAA Operational Model Archive and Distribution System, URL: <http://nomads.ncdc.noaa.gov/data/>. Данные распространяются в коде GRIB2. Конвертация данных из формата grib2 в формат shp-файлов осуществляется с помощью программы **tkdeGrib**.

Данные модели GFS/NCEP за апрель 2011 г. представлены в папке GRIB на диске C. Для их декодирования и конвертации в шейп-файлы воспользуйтесь программой **tkDeGrib**, установленной на ваших компьютерах.

Запустите программу **tkDeGrib**, в меню слева вверху перейдите на вкладку **GIS**. Затем зайдите в папку **C:/GRIB**, и откройте один из файлов двойным щелчком левой кнопки мыши. В результате в окне программы отобразится список метеорологических параметров, содержащихся в файле. Интерфейс программы **tkDeGrib** после перехода на вкладку **GIS** и открытия файла с данными выглядит следующим образом (рис. 4.14).

Описание выходных переменных модели GFS/NCEP в окне **tkDegrib** включает порядковый номер, краткое имя (**Short Name**), полное имя (**Long Name**), изобарическую поверхность, уровень (**Level**), Дату и время в формате **UTC**.

Для выполнения конвертации в списке переменных найдите температуру на изобарической поверхности **AT900** и выделите эту строку. В группе **Choose File Type** выберите опцию **Point**, в группе

Units (единицы измерения) выберите **Metric**, в группе **Round Decimal** укажите 1 (т.е. округлять значения до 1 знака после запятой), в строке **OUTPUT FILENAME** укажите место сохранения выходного файла и его имя.

Имя выходного шейп-файла должно включать дату, время и краткое название параметра, например **T900_20110401_00.shp**. Другие опции сохранения оставьте по умолчанию. Для запуска процесса конвертации нажмите кнопку **Generate shp file**.

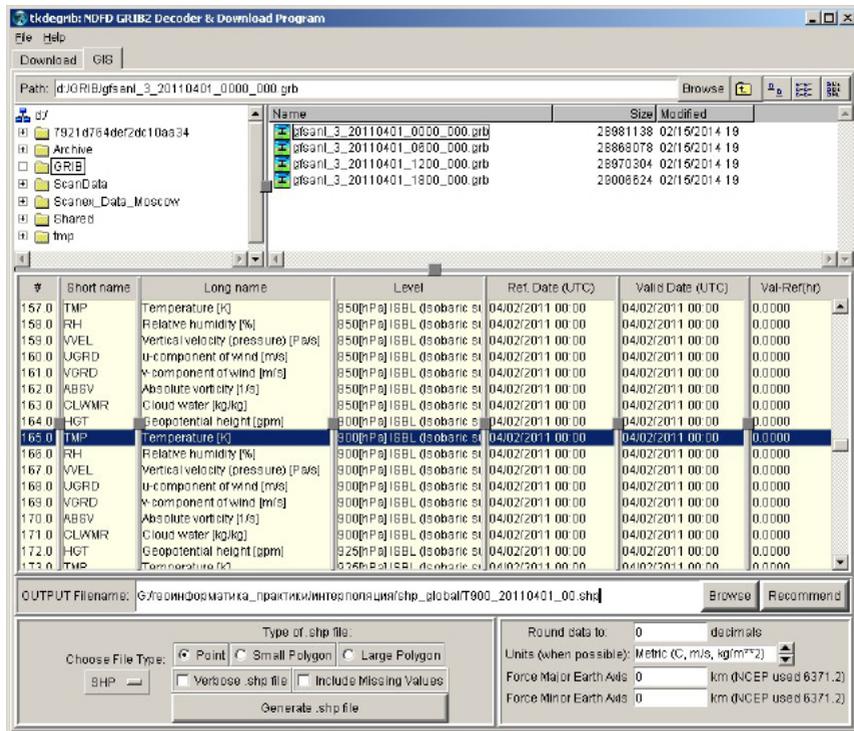


Рис. 4.14. Интерфейс программы tkDeGrb

Аналогичным образом конвертируйте значения температуры на изобарической поверхности **AT900** за сроки 06, 12 и 18 UTC.

Добавьте выходные шейп-файлы (результат конвертации) в проект ArcMap. Они имеют систему координат NCEP-SPHERE (географическая система координат без проекции) и представляют собой узлы модельной сетки с размером ячейки в 1 градус. В атрибутивной таблице в поле **TMP** содержится расчетное значение температуры в узле сетки в градусах Цельсия (рис. 4.15).

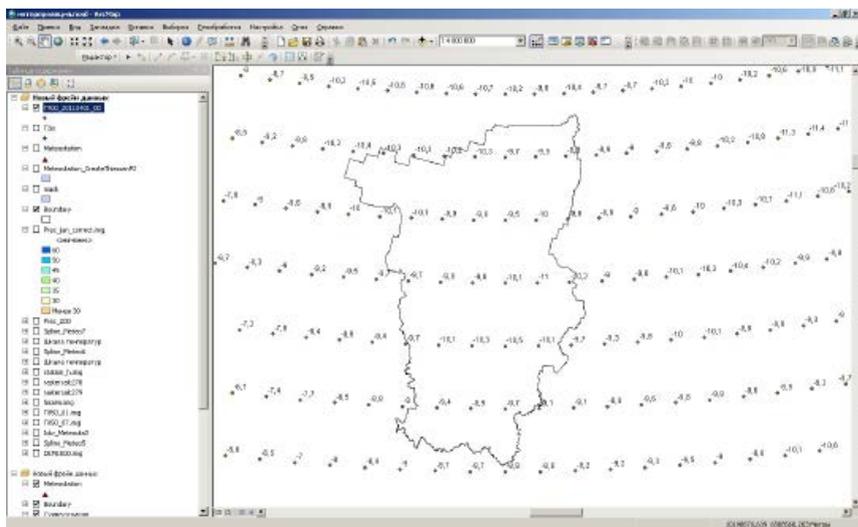


Рис. 4.15. Результат конвертации данных объективного анализа GFS/NCEP (температура на изобарической поверхности 900 гПа) в формат шейп-файла

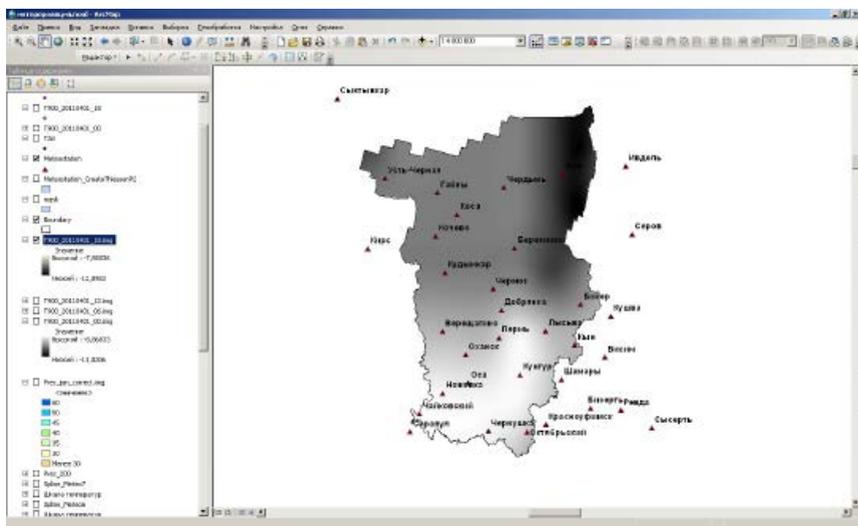


Рис. 4.16. Результат восстановления температуры на изобарической поверхности AT900 из узлов регулярной сетки модели GFS/NCEP

Для восстановления полей температуры из этих данных необходимо их предварительное перепроецирование в систему координат проекта. Для этого воспользуйтесь инструментом перепроецирования векторных данных (**ArcToolBox**, группа **Управление данными**, подгруппа **Проекции и преобразования, Вектор**) и только затем выполните интерполяцию методом натяжного сплайна. В результате будет создано 4 растра температуры на изобарической поверхности AT900 за 00, 06, 12 и 18 UTC 1 апреля 2011 г. (рис. 4.16).

Затем для вычисления среднего арифметического из четырех растров воспользуйтесь инструментом локальной статистики (**Spatial Analyst**, группа инструментов **Локальные**, инструмент **Статистика по ячейкам**), или средствами **Растрового калькулятора** (рис. 4.17).

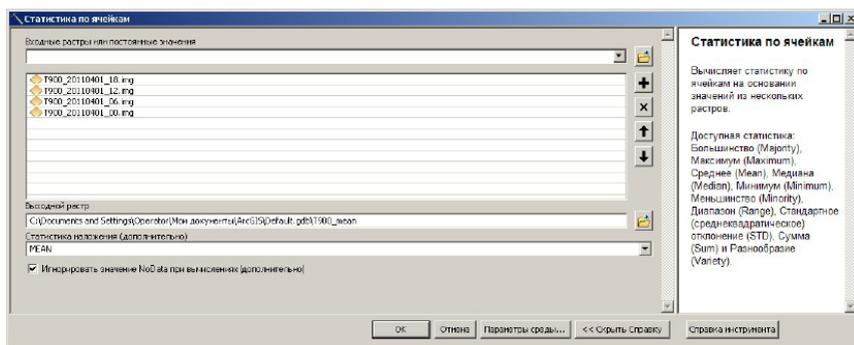


Рис. 4.17. Расчет среднего арифметического из нескольких растров с помощью инструмента локальной статистики

Далее выполните интерполяцию данных метеостанций за 1 апреля методом натяжного сплайна и вычислите с помощью **Растрового калькулятора** среднесуточную температуру воздуха с учетом рельефа по формуле (1). Сравните результаты интерполяции с учетом и без учета рельефа (рис. 4.18). В данном случае при значительном вертикальном градиенте температуры учет рельефа при интерполяции необходим.

Аналогичным образом вычислите среднесуточную температуру воздуха за 2-10 апреля и среднюю декадную температуру.

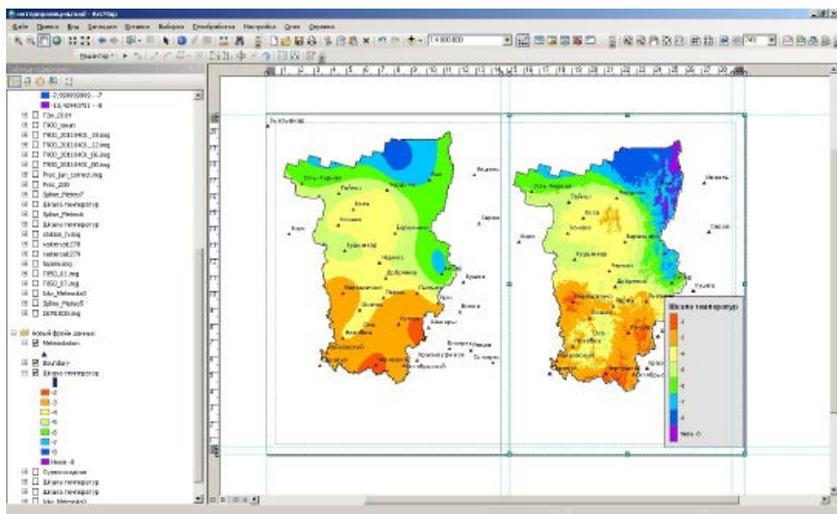


Рис. 4.18. Результат интерполяции среднесуточной температуры воздуха 01.04.2011 г. без учета рельефа (слева) и с учетом рельефа (справа)

Интерполяция данных снегомерных съемок

Для интерполяции данных снегомерных съемок необходимо, кроме рельефа территории, учитывать также ее лесистость, потому что условия снегонакопления в лесу и на открытой местности сильно различаются, а снегомерки проводятся раздельно в лесу и в поле. В связи с этим данные снегомерных съемок интерполируются обычно раздельно для лесных и нелесных земель. Необходимо учитывать также породный состав лесов, но в данной работе приведен упрощенный пример.

Данные о залесенности территории Пермского края можно получить из векторного слоя **WOOD.shp**. Типы растительности описаны в поле атрибутивной таблицы данного слоя «**Название**».

Откройте атрибутивную таблицу векторного слоя **WOOD.shp**. Используя меню **Опции – Выбрать по Атрибуту**, выберите все объекты типа «**Леса густые высокие (обычные)**» (поле выборки - **Название**).

Конвертируйте выбранные объекты типа «**Леса густые высокие**» в растровый формат данных. В качестве значений укажите поле «**Распространение**», размер ячейки – 1000 м. В результате будет создан растровый слой лесов Пермского края.

Для дальнейшей работы с растровым слоем лесов необходимо заменить значения ячеек «NoData» на «0», для чего использовать инструмент **Переклассификация Spatial Analyst**. Выходной растр назовите **WOOD.img** (рис. 4.19).

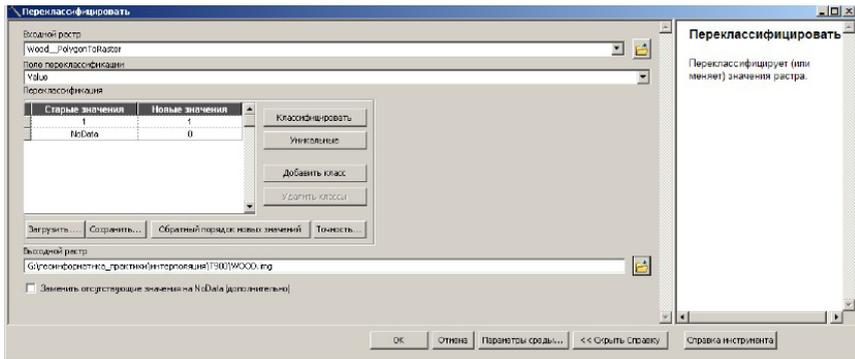


Рис. 4.19. Переклассификация GRID-слоя лесов Пермского края

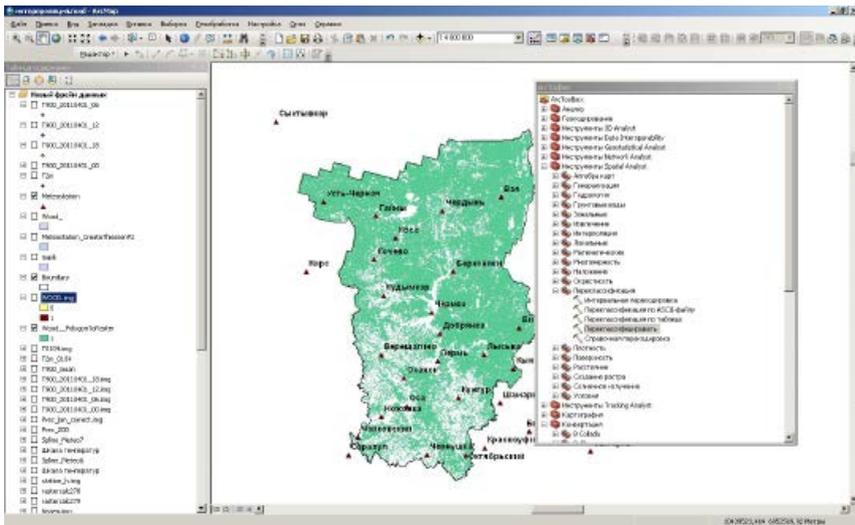


Рис. 4.20. GRID-слой лесов Пермского края

Откройте атрибутивную таблицу слоя **снегосъемки_лес.shp**. Используя описанный выше алгоритм, выполните интерполяцию данных снегомерных съемок в предположении, что высотный градиент равен 10%/100 м высоты.

Создайте в атрибутивной таблице слоя **снегосъемки_лес** новое поле и вычислите в нем запас воды в снеге, приведенный к высоте 200 м по формуле

$$[SWE_3103] - 0.001 * [SWE_3103] * ([HEIGHT] - 200), \quad (3)$$

где $[SWE_3103]$ – запас воды в снеге на 31 марта 2011 г. по данным снегомерного маршрута;

0.001 - относительный вертикальный градиент снегозапаса на 100 м высоты.

Затем проинтерполируйте снегозапас, приведенный к высоте 200м, методом натяжного сплайна.

Вычислите запас воды в снеге с учетом рельефа и лесистости территории, используя **Растровый калькулятор**:

$$([swe_wood] + 0.001 * [swe_wood] * ([DEM1000.img] - 200)) * [WOOD],$$

где $[swe_wood]$ – запас воды в снежном покрове в лесу, приведенный к отметке 200 м;

$[WOOD]$ – переклассифицированный GRID-слой лесов.

В полученном растре все ячейки без леса имеют значение «0». Чтобы вычислить запас воды в снеге на всей территории Пермского края, нужно аналогичный расчет выполнить для безлесной территории, а затем сложить с результатом, полученным для лесных земель.

Чтобы выполнить расчет для безлесной территории, необходимо снова переклассифицировать грид-слой лесов. Но теперь значение «1» нужно присвоить безлесным территориям, а значение «0» – лесам. Дальнейшая схема расчета полностью аналогична схеме, применяемой для лесных земель.

Сложив результаты интерполяции снегозапасов для лесных и нелесных участков, получите растровый слой снегозапаса на всей территории Пермского края. Экспортируйте результат вычислений в новый растровый набор данных **SWE_2011_0331.img** (SWE – от **Snow Water Equivalent**, запас воды в снежном покрове).

Составьте компоновку карты максимальных снегозапасов в 2011 г., которую оформите аналогично рис. 4.21. Как видно, из всех рассмотренных метеорологических параметров снегозапасы характеризуются максимальной неоднородностью пространственного распределения, поэтому их интерполяция наименее точна.

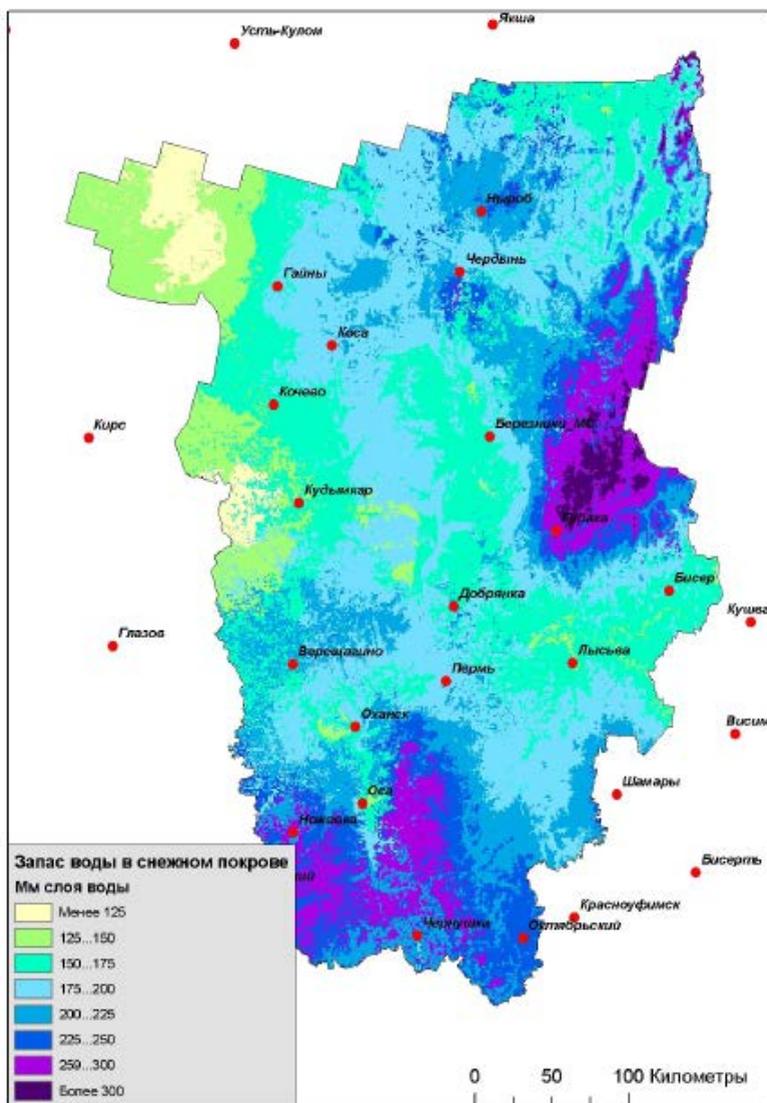


Рис. 4.21. Карта запасов воды в снегу на 31 марта 2011 г.

Затем с помощью инструмента **Зональная Статистика** вычислите средние значения запасов воды в снежном покрове на водосборах рек.

Используя описанные выше методы восстановления полей гидрометеорологических величин средствами ArcGis, можно также вводить различные поправочные коэффициенты (например, учитывать снижение температуры воздуха летом вблизи водных объектов или изменчивость снегозапасов в зависимости от типа лесной растительности).

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5
ПОДГОТОВКА ДАННЫХ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СТОКА
(СХЕМАТИЗАЦИЯ ВОДОСБОРОВ)

Теоретические основы

Формирование речного стока представляет собой чрезвычайно сложный многофакторный процесс, обусловленный взаимодействием большого числа элементарных процессов. В настоящее время важную роль в описании взаимодействия основных процессов формирования стока приобрело математическое моделирование, позволяющее количественно воспроизводить основные физические закономерности трансформации поступившей на водосбор воды на основе теоретических представлений и обобщения экспериментальных данных (Антохина, 2012; Семенова, 2008).

Современные математические модели формирования стока основаны на использовании ландшафтно-гидрологического принципа, и реализуются с применением геоинформационных технологий. Так как каждый конкретный бассейн включает в себя различные по условиям формирования стока участки, модель, кроме полного описания основных процессов формирования стока, должна учитывать их пространственную изменчивость с учетом реально имеющегося информационного обеспечения. Для качественного описания и моделирования гидрологических систем к настоящему времени разработан широкий спектр подходов и соответствующих математических моделей. (Антохина, 2012; Семенова, 2008).

Для моделирования процессов формирования и таяния снежного покрова, поступления, потерь и стекания воды по склонам водосбора и в русловой сети, необходимо провести схематизацию бассейна и речной сети. Целью такой схематизации в общем является выделение участков, однородных по условиям формирования стока, с учетом границ водоразделов и времени добега воды до замыкающего створа. Обычно схематизация предполагает выделение в пределах исследуемого бассейна небольших частных (элементарных) водосборов, в пределах каждого из которых основные характеристики ландшафтов, определяющие процесс формирования стока (высота местности, уклон, экспозиция склонов, типы почв, растительного покрова, землепользования и т.д.), осредняются с использованием весовых коэффициентов. В роли весовых коэффициентов, как правило, выступают доли площадей

разных ландшафтов и почв на элементарном водосборе. Взвешенное осреднение необходимо в связи с тем, что даже на небольших по площади элементарных водосборах условие однородности формирования стока обычно не выполняется.

Схематизация водосбора выполняется на основе цифровой модели рельефа и данных дистанционного зондирования Земли средствами геоинформационных технологий. Кроме того, в модель формирования стока закладывается информация о структуре речной сети (какая река впадает в какую, порядок и протяженность притоков, прилегающие склоны, с которых вода попадает на данный участок реки).

Техническая постановка задачи

Необходимо выполнить схематизацию водосбора р. Усьва с замыкающим створом с. Бобровка):

1. На основе цифровой модели рельефа SRTM-90 построить модельную гидрографическую сеть, рассчитать порядки водотоков и построить элементарные водосборы. Вычислить производные характеристики – уклон и экспозицию склонов. Провести классификацию уклонов.

2. На основе данных ДЗЗ со спутника LANDSAT построить карту типизации подстилающей поверхности с выделением следующих основных классов: горная тундра и каменные россыпи, луговая растительность, поросль леса и кустарники, мелколиственные леса, смешанные леса, темнохвойные леса, вырубки и населенные пункты, болота. Вычислить долю каждого класса в пределах элементарных водосборов.

3. Выделить участки, однородные по условиям формирования стока (угол наклона склона, экспозиция склона, тип растительного покрова).

4. Вычислить долю площади, занимаемую различными типами растительности, почв, склонами различной крутизны и экспозиции в элементарных водосборах.

В качестве исходных данных используются: цифровая модель рельефа SRTM-90; космические снимки со спутника LANDSAT-5 с разрешением 30 м; векторные данные на исследуемый водосбор (гидрография, дорожная сеть, населенные пункты); векторная карта типов почвенного покрова. Все исходные данные находятся в каталоге **C:\Tasks\Modeling**.

Добавьте результирующий растр во фрейм данных, исходный растр удалите. После чего необходимо задать систему координат фрейма данных такую же, как и у перепроецированного растра ЦМР.

Затем в атрибутивной таблице слоя населенных пунктов (**city.shp**) найдите пос. Бобровка, расположенный в нижнем течении р. Усьва. Для уменьшения затрат времени на проведение дальнейших расчетов (направления стока и суммарного стока, выделение границ водосборов), желателно вырезать фрагмент ЦМР, включающий в себя весь водосбор р. Усьва, и продолжать работу только с этим фрагментом.

Используя фрагмент ЦМР, проведите автоматическое оконтуривание границ водосбора р. Усьва на основе следующего алгоритма (более подробно описанного в п. 1 настоящего пособия).

1. Заполнение локальных понижений в ЦМР с помощью инструмента **Заполнение (Spatial Analyst, группа инструментов Гидрология)**.

2. Определение направления стока по 8 румбам с помощью инструмента **Направление стока (Spatial Analyst, группа инструментов Гидрология)** по ЦМР с заполненными локальными понижениями.

3. Определение суммарного стока (потокowego накопления в ячейках) с помощью инструмента **Суммарный сток (Spatial Analyst, группа инструментов Гидрология)**.

4. Установите в пределах с. Бобровка точку замыкающего створа (на ячейке идентифицированной по ЦМР речной сети, соответствующей р. Усьва).

5. В Параметрах Среды **ArcToolBox** задайте экстенд обработки – как у слоя ЦМР.

6. Определите границы водосбора р. Усьва до с. Бобровка с помощью инструмента **Водосборная область (Spatial Analyst, группа инструментов Гидрология)**.

7. Конвертируйте выделенный водосбор в векторный формат данных, используя инструмент **«Растр в полигоны» (ArcToolBox, группа инструментов Конвертация, подгруппа Экспорт из растра)**.

Результат операции выделения границ водосбора р. Усьва до пос. Бобровка представлен на рис. 5.2.

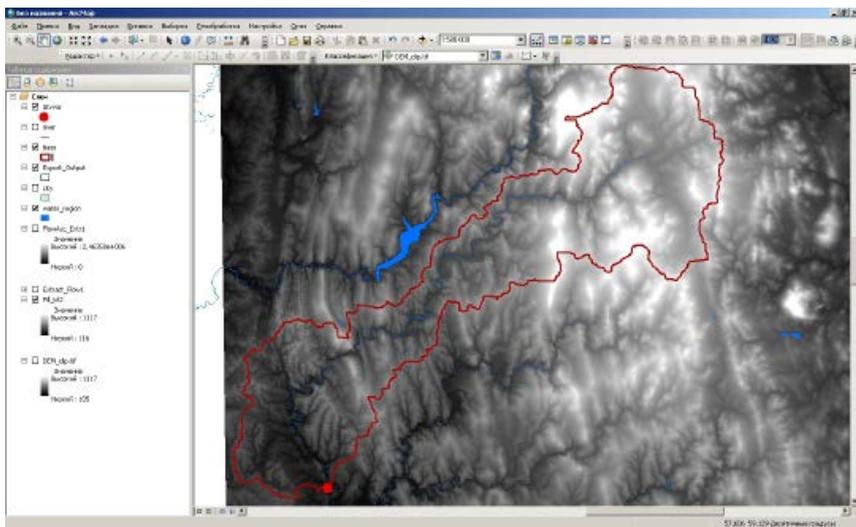


Рис. 5.2. Результат выделения границ водосбора р. Усьва до с. Бобровка

Расчет уклона и экспозиции склонов на водосборе р. Усьва выполните с использованием инструментов **Уклон** и **Экспозиция** (группа инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Поверхность**). Предварительно необходимо вырезать растр ЦМР по маске водосбора р. Усьва, используя инструмент **Извлечь по Маске** (группа инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Извлечение**).

Переклассифицируйте растр уклонов поверхности, используя градации уклонов по Миллеру для горных территорий (табл. 5.2). Для этого используйте инструмент **Переклассифицировать** (группа инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Переклассификация**). Затем векторизуйте результат переклассификации.

Таблица 5.1

Градации уклонов земной поверхности по Миллеру [Миллер, 1996]

Угол наклона склона	Наименование класса	Индекс (класс)
меньше 3°	очень пологие склоны	1
3-6°	пологие склоны	2
6-9°	слабопокатые склоны	3
9-12°	покатые склоны	4
12-15°	сильнопокатые склоны	5
15-30°	крутые склоны	6
30-45°	очень крутые склоны	7
больше 45°	обрывистые склоны	8

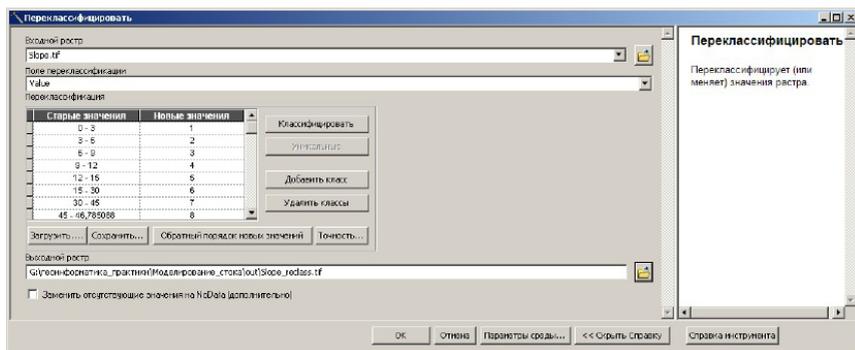


Рис. 5.3. Переклассификация уклонов поверхности по градиациям

Моделирование речной сети и элементарных водосборов

Для моделирования речной сети на основе ЦМР используется результат вычисления суммарного стока (более подробно данный вопрос рассмотрен в п. 1). Применяя пороговое значение к результатам расчета потокового накопления (**Flow Accumulation**), с помощью **Растрового калькулятора**, можно выделить сеть водотоков с требуемой генерализацией. Пороговое значение задайте равным **1000** ячеек. Таким образом, в качестве водотоков будут определены те ячейки, в которые поступает сток более чем из 1000 расположенных выше по рельефу ячеек. Затем на основе полученного результата проведите идентификацию водотоков, используя соответствующий инструмент из группы **Гидрология (Spatial Analyst)**. Результат идентификации водотоков представлен на рис. 5.4.

Определение порядка водотоков

Порядок водотоков – это метод присвоения числового порядка связям в сети водотоков на основе количества их притоков. Известны два основных метода определения порядка водотоков – метод **Стралера-Философова** и метод **Шреве**, причем чаще в задачах, связанных с гидрологическим моделированием, используется метод **Стралера-Философова**.

При определении порядка водотоков по методу **Стралера-Философова** всем сегментам водотоков, не имеющим притоков, присваивается единица и они рассматриваются как водотоки пер-

вого порядка. Порядок водотоков возрастает, если водотоки с одинаковым порядком пересекаются. Следовательно, после слияния сегментов первого и второго порядка, результирующий водоток будет по-прежнему водотоком второго порядка, а не третьего порядка. Пересечение двух связей разных порядков не приведёт к возрастанию порядка. Например, пересечение связи первого и второго порядка не создадут связь третьего порядка, но сохранит порядок связи большего порядка.

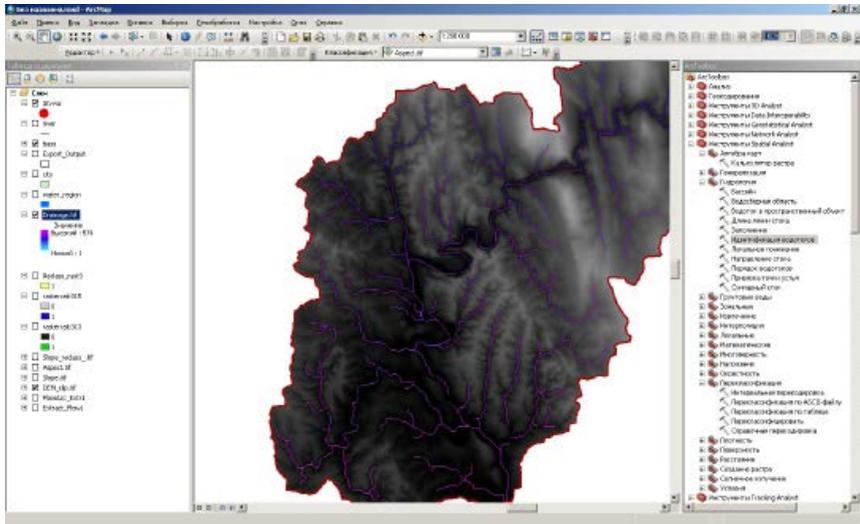


Рис. 5.4. Результат идентификации сети водотоков

В моделях формирования стока используется следующий алгоритм присвоения порядка водотокам: главная река является рекой первого порядка, ее притоки являются реками второго порядка, их притоки – реками третьего порядка и так далее. Описанный порядок удобен для реализации модели кинематической волны (сначала идет расчет по водотокам высшего порядка, затем, при расчете по следующему порядку эта информация учитывается как боковой приток и так далее, пока не будет произведен расчет стекания воды по главной реке) [Антохина, 2012].

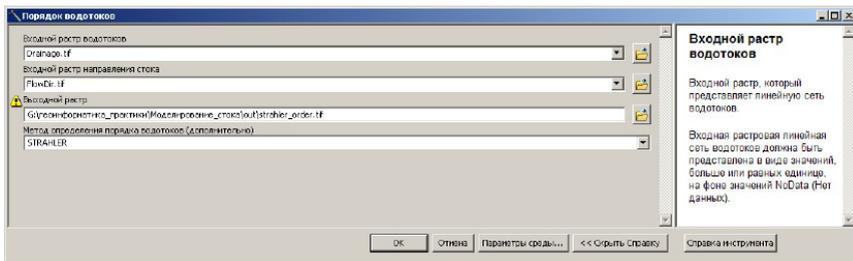


Рис. 5.5. Автоматическое определение порядка водотоков по схеме Стралера

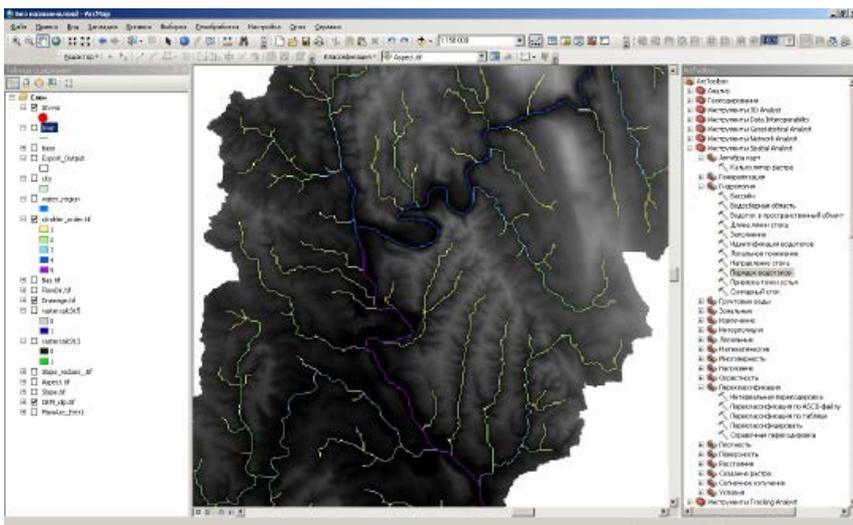


Рис. 5.6. Результат определения порядка водотоков по схеме Стралера

Выделение водосборных областей различного порядка

Для выделения водосборных областей с учетом порядка водотоков в качестве исходных данных необходимы растр направлений стока и точки устьев (точечные векторные объекты), а также данные о порядках водотоков.

Установка точек устьев возможна в ручном или автоматическом режиме. Для установки точек устьев в автоматическом режиме сначала необходимо конвертировать в векторное представление растр водотоков (с определенными их порядками по схеме **Стралера**), используя инструмент **Растр в линии** (группа инструментов

Конвертация, подгруппа **Экспорт из растра**). В атрибутивной таблице полученного векторного слоя представлены данные о порядке водотока (поле **GridCode**), а также номера точек истока (или начала сегмента речной сети, **From Node**) и устья (окончания сегмента речной сети, **To Node**).

Затем необходимо извлечь из полученного векторного слоя данные о точках устьев, используя инструмент **Вершины объекта в точки** (группа **Управление данными**, подгруппа **Пространственные объекты**). При этом в группе **Тип точки** нужно выбрать опцию **End** (т.е. конвертируются в точечные объекты только точки окончания сегментов речной сети).

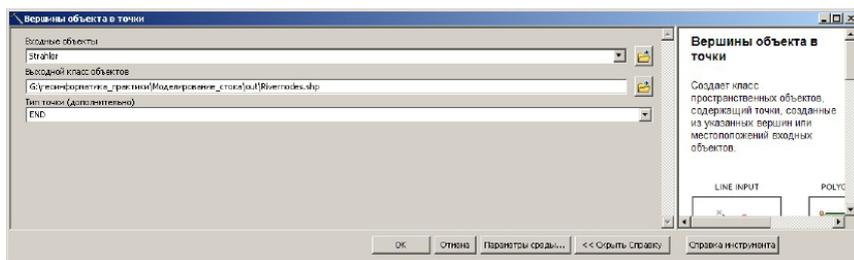


Рис. 5.7. Создание векторного слоя точек устьев

В результате будет создан слой точек устьев, в атрибутивной таблице которого представлены данные о порядке водотоков (поле **GridCode**).

Данные о точках устьев, полученные в автоматическом режиме, содержат многочисленные ошибки и требуют длительного ручного редактирования: необходимо удалить все точки, установленные в начальных ячейках сегментов модельной речной сети (т.е. в истоках рек), а также дублирующие друг друга.

В связи с этим часто бывает удобнее провести расстановку точек устьев в ручном режиме (рис. 5.8). В этом случае данные о порядке водотоков можно получить с помощью инструмента **«Зональная статистика в таблицу»** (группа инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Зональные**), и затем присоединить данные о порядках водотоков к слою точек устьев с помощью инструмента соединения таблиц. Выходная атрибутивная таблица должна содержать данные о порядке водотоков.

Выделение водосборных областей выполняется с помощью инструмента **«Водосборная область»** (группа инструментов **Spatial Analyst**, подгруппа **Гидрология**) поочередно для водотоков различных порядков. Для этого сначала выделите в слое точек устьев все

устья рек 1-го порядка и проведите автоматическое оконтуривание водосборов. Затем аналогичным образом (рис. 5.10) выделите водосборы 2, 3, 4 и 5-го порядков.

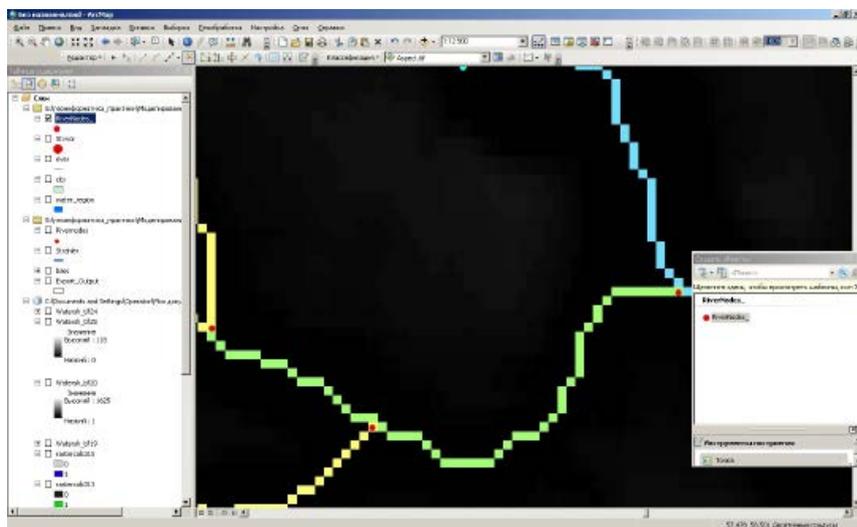


Рис. 5.8. Установка точек устьев

Таблица

RiverNodes

FID	Shape *	Id	RiverNodes_Order
118	TQ4K9	0	5
3	TQ4K9	0	4
1	TQ4K9	0	3
2	TQ4K9	0	3
4	TQ4K9	0	3
5	TQ4K9	0	3
6	TQ4K9	0	3
7	TQ4K9	0	3
8	TQ4K9	0	3
9	TQ4K9	0	3
10	TQ4K9	0	2

14 | 0 | 1 | [0 из 207 Выбраные]

RiverNodes2

Рис. 5.9. Атрибутивная таблица слоя точек устьев с присоединенными данными о порядках водотоков

Конвертируйте выделенные водосборы в полигональные векторные объекты и затем объедините их с использованием инструмента **Слияние** (группа инструментов **Управление данными**, подгруппа **Общие**). В результате будет получен один шейп-файл, содержащий в себе данные о водосборах различных порядков (иерархию речных бассейнов). В атрибутивной таблице вычислите их площадь.

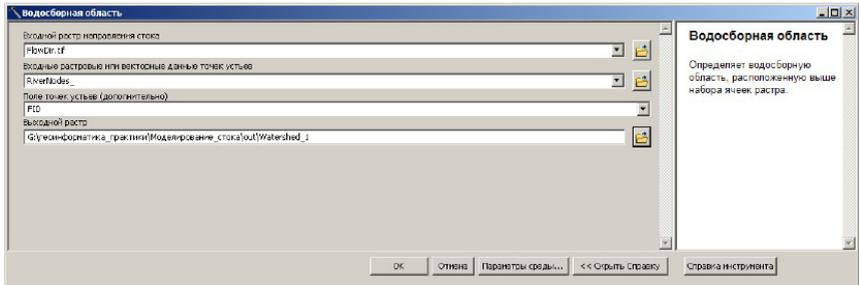


Рис. 5.10. Выделение водосборов первого порядка

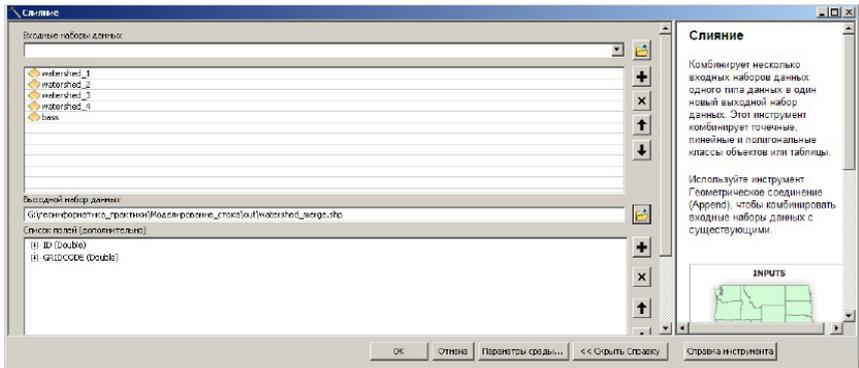


Рис. 5.11. Объединение границ водосборов различных порядков в один шейп-файл

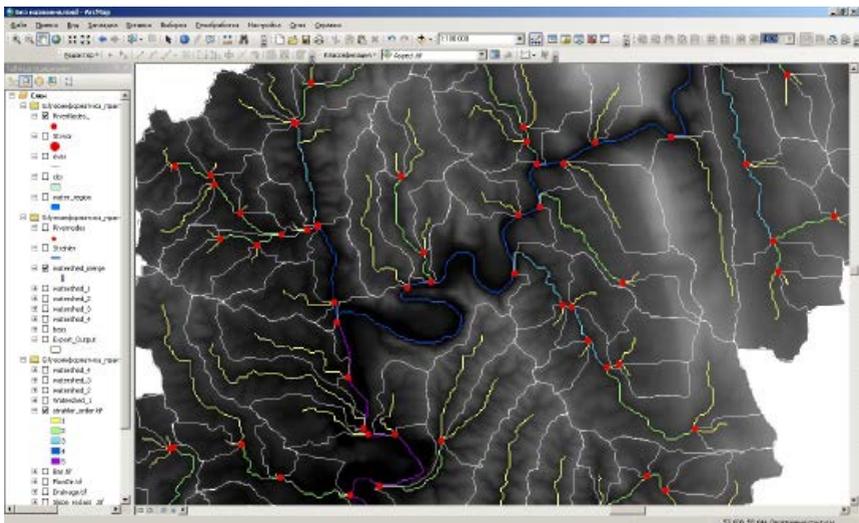


Рис. 5.12. Результат автоматического выделения водосборных бассейнов

Создание карты типизации подстилающей поверхности (Land Cover/Land Use Map) на исследуемый водосбор

Для создания карт типов подстилающей поверхности обычно используются общедоступные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) низкого (**Terra/Aqua MODIS**) и среднего (**LANDSAT**) пространственного разрешения. Существует также ряд общедоступных глобальных карт растительного покрова, созданных по данным ДЗЗ:

GlobCover-2009 – карта типизации растительного покрова, созданная Европейским космическим агентством на основе данных ДЗЗ **ENVISAT MERIS** с пространственным разрешением 300 м. Ее подробное описание приведено в документе [Bountemps et al., 2009].

Определенным недостатком данной карты является объединение классов темнохвойных и сосновых лесов, для которых характерен существенно различающийся гидрологический режим (условий снегонакопления, снеготаяния испарения, поверхностного стока).

Тематический продукт MCD12Q1 на основе данных **Terra/Aqua MODIS** – ежегодно обновляемая карта типов подстилающей поверхности с пространственным разрешением 500 м [<http://gis-lab.info/qa/modislandprod.html>].

Для небольших по площади водосборов детальности этих глобальных информационных продуктов может оказаться недостаточной. В этом случае карта типов подстилающей поверхности и землепользования может быть создана по данным среднего разрешения **LANDSAT**, методами неуправляемой классификации изображения (при отсутствии наземных ключевых точек) или классификации с обучением (при их наличии). В ряде случаев существенного повышения надежности разделения классов можно добиться, используя мультивременной композит разносезонных снимков (синтез каналов летнего и зимнего снимков) результатов классификации.

*Справка: **Попиксельная классификация** – автоматическое подразделение всех пикселей снимка на группы, соответствующие разным объектам местности на основе различий в их спектральной яркости. Выделяют методы неуправляемой (без обучения) и управляемой (с обучением) классификаций.*

В рассматриваемом примере ключевые точки отсутствуют, поэтому предпочтительно использовать методы неуправляемой классификации.

Подготовка снимков для дешифрирования включает подбор наиболее подходящего спектрального синтеза и извлечение данных по нужной территории. Исходные данные со спутника **LANDSAT** находятся в папке **LANDSAT-DATA** – это снимки за 20 июля 2010 г. и 30 марта 2010 г.

Наиболее информативными спектральными каналами для дешифрирования типов растительного покрова являются ближний ИК (NIR, 5-й канал LANDSAT), средний ИК (SWIR, 4-й канал LANDSAT) и красный (RED, 3-й канал LANDSAT). Поэтому порядок подготовки данных должен быть следующим:

1. Создать трехканальный RGB-композит из 5, 4 и 3-го каналов летнего снимка (SWIR-NIR-RED). Данная операция выполняется с помощью инструмента Объединить каналы (группа инструментов **Управление данными**, подгруппа **Растр**, **Обработка Растра**). Вырезать данный композит по границам водосбора р. Усьва, используя инструмент извлечения растровых данных по маске.
2. Выполнить те же операции со вторым снимком.
3. Создать мультисезонный RGB-композит, состоящий из ближнего ИК канала летнего снимка, ближнего ИК канала зимнего снимка и красного канала летнего снимка (как на рис. 5.13). Также обрезать его по границам водосбора.

Основными преимуществами мультисезонного дешифрирования является комплексное использование дешифровочных признаков, присущих растительному покрову в разные сезоны года. Прежде всего по композиту летнего и зимнего снимка будут лучше разделяться следующие классы растительности:

1. Мелколиственный лес и смешанный елово-пихтово-березовый лес (в связи с тем, что на зимних снимках лучше различим второй ярус деревьев, если первый ярус – преимущественно мелколиственный).
2. Также будут разделены в пространстве спектральных признаков мелколиственный лес и луговая растительность, ближней ИК- зоне спектра.

Для неуправляемой классификации мультивременного композита воспользуйтесь панелью инструментов Классификация изображений. Инструменты ArcGis 10.1 позволяют выполнить неуправляемую классификацию снимка методом IZODATA, или классификацию с обучением, по методу максимального правдоподобия.

В раскрывающемся списке на панели инструментов **Классификация изображений** выберите мультисезонный снимок и запустите инструмент **Неконтролируемая классификация изокластеров** (рис. 5,14).

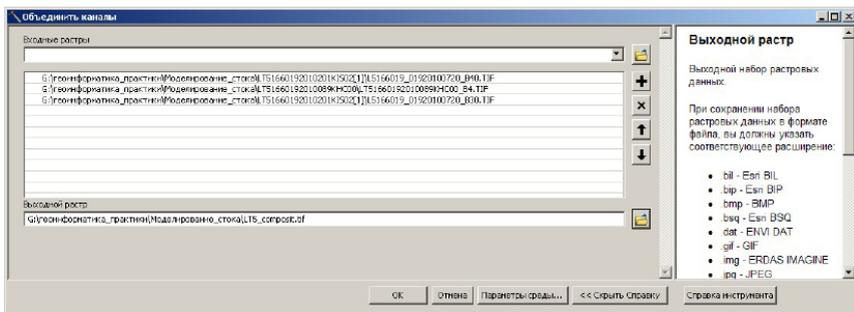


Рис. 5.13. Создание мультисезонного композита LANDSAT

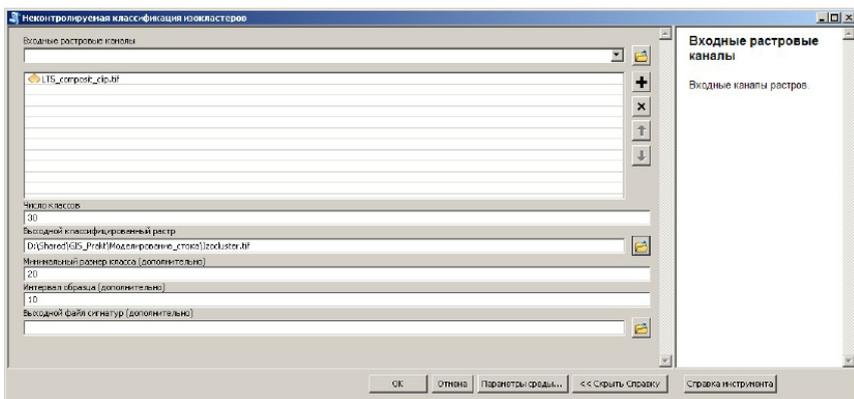


Рис. 5.14. Инструмент «Неконтролируемая классификация изокластеров»

*Справка: метод **IZODATA** (итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных – Iterative Self-Organizing Data Analysis Method) является одним из наиболее популярных алгоритмов, используемых для неуправляемой классификации изображений. Он базируется на кластеризации изображения, основанной на разнице между средними значениями кластеров (минимальном спектральном расстоянии между центрами классов). Результатом обработки является новый растровый слой, содержащий полученные кластеры, объединенные по принадлежности к спектральным классам. Получившиеся спектральные классы кодируются от минимальных к максимальным средним значениям спектральной яркости, и нумеруются от единицы. Постобработка результатов классификации предполагает выполнение тематической интерпретации получившихся спектральных классов [ScanEx].*

фильтрации можно повторить 3-4 раза, используя опцию HALF, что обеспечивает больший сглаживающий эффект (рис. 5.17).

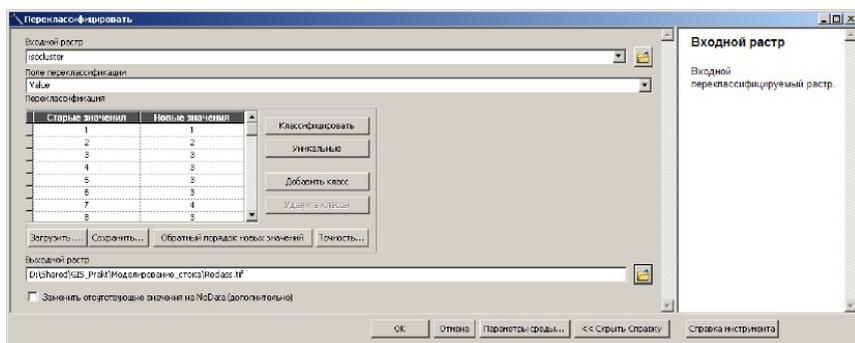


Рис. 5.16. Переклассификация изображения с целью объединения классов

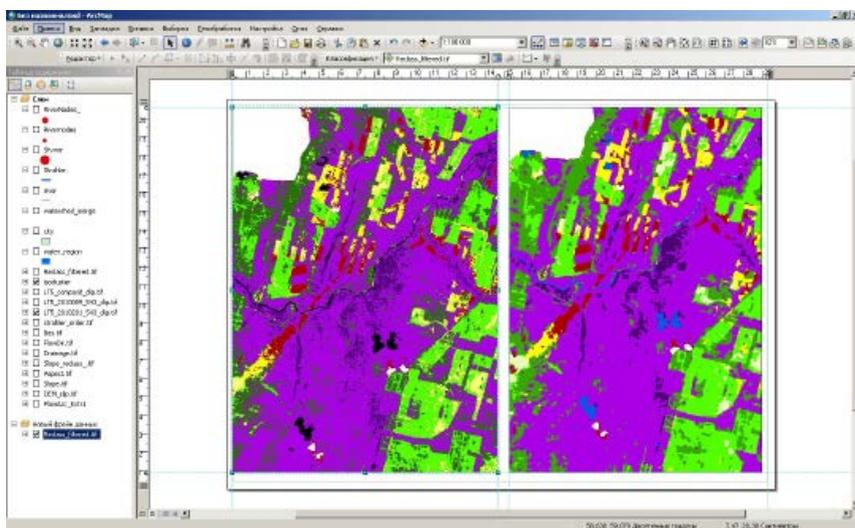


Рис. 5.17. Результаты классификации снимка: слева – до сглаживания, справа – после сглаживания

После фильтрации выполните автоматическую векторизацию результатов классификации, используя инструмент **Растр в полигоны**. Объедините все объекты в полученном векторном слое по полю **GridCode** (содержащему идентификаторы классов) и заполните новое текстовое поле с наименованиями классов.

При необходимости выполните также ручную корректировку векторного слоя для тех объектов, классы которых не были определены

по объективным причинам (например, закрыты тенью от облаков).

Для каждого водосбора 1-го, 2-го, 3-го и 4-го порядков определите долю каждого типа растительности в общей площади водосбора. Для этого необходимо выполнить следующие действия:

- пересечение слоев водосборов и типов растительного покрова;
- в атрибутивной таблице полученного в результате пересечения векторного слоя суммировать площадь каждого типа растительного покрова по водосборам, по полю **GridCode** (уникальному идентификатору водосборов);
- присоединить полученные таблицы к исходному слою водосборов. Используя **калькулятор поля**, рассчитать процент территории, занимаемый каждым типом растительного покрова в пределах водосборов (рис. 5.18).

На основе полученных данных о распределении типов растительного покрова на элементарных водосборах могут быть определены весовые коэффициенты, используемые, например, при расчете интенсивности снеготаяния с учетом доли каждого типа растительности на каждом водосборе.

тип	площадь	густота травянополюсной росы	густота сосновоберезовой росы	сосновый лес	смешанный лес	открытый грунт	лесостепной массивный лес	луг	сенокос	поросль	вода
Сос. Эль	0,00288	0,12882	0,479195	0,182179	0,031388	0,131798	0,03338	0,006879	0,015575		
Сос. Мелюховая	0,00179	0,07414	0,444515	0,100368	0,030062	0,142714	0,043017	0,003968	0,030764		
Сос. Топольная	0,01351	0,12884	0,129515	0,263515	0,036916	0,262818	0,0517965	0,002103	0,058241		
Сос. Бассел	0,00092	0,02896	0,891966	0,091079	0,053018	0,102419	0,11236	0,019366	0,018845		
Шаловые	0,00523	0,01221	0,334101	0,384121	0,033086	0,384121	0,033086	0,01367	0,013671	0,03133	
Шаловые	0,007117	0,008918	0,120629	0,884826	0,063719	0,121128	0,381163	0,007148	0,004965		
Березовые	0,005647	0,003305	0,192711	0,279055	0,019236	0,180412	0,166865	0,001139	0,022337		
Бер. Ултин	0,001389	0,00831	0,083882	0,623836	0,001705	0,238402	0,020029	0,001884	0,024791		
Степная	0,017029	0,005455	0,050083	0,59000	0,003042	0,110009	0,122489	0,003822	0,017304		
Сухая	0,004452	0,004452	0,056029	0,759229	0,00572	0,756663	0,239887	0,015056	0,026438		
Галдяш	0,008612	0,001878	0,018262	0,448112	0,00188	0,489007	0,0240912	0,001739	0,01020		
Зем. Топош	0,004321	0,004321	0,011082	0,283724	0,002080	0,271355	0,004322	NULL	0,018845		

Рис. 5.18. Доля различных типов растительного покрова на водосборах 3-го порядка (%)

Подготовка данных о типах почвенного покрова, уклонах и экспозициях склонов

Данные о типах почв на территории Пермского края в масштабе 1:700 000 представлены в шейп-файле **Soil_reg_a_700.shp** (находится в каталоге с исходными данными, подкаталог Soil). Используя вышеописанный алгоритм, для каждого водосбора рассчитайте процентное соотношение различных типов почв. На основе этих данных могут быть определены параметры почвенной колонки в модели

формирования стока для каждого элементарного водосбора.

Аналогичным образом определите доли площадей склонов различного уклона и экспозиции на каждом элементарном водосборе. Для этого воспользуйтесь результатов переклассификации растров уклона (по схеме Мюллера) и экспозиций склонов (по 8 румбам). Векторизуйте результаты переклассификации и вычислите распределение склонов различных уклонов и экспозиций в пределах каждого элементарного водосбора.

Уклон, экспозиция склона, тип растительности и тип почв являются четырьмя важнейшими факторами, определяющими условия формирования стока. Следовательно, путем наложения (пересечения) векторных слоев классов уклонов, экспозиций, типов растительности и типов почв можно определить стокооднородные участки (рис. 5.19).

Однако такой подход на практике применяется редко, поскольку приводит к слишком дробному делению водосбора. С учетом детальности используемых данных количество стокооднородных участков на водосборе р. Усьва до с. Бобровка может превысить 300 тыс. Чаще всего завершающим этапом работ по подготовке данных является приведение всех имеющихся данных (ЦМР, уклон и экспозиция склонов, типы растительности и почв) к единому формату и пространственному разрешению.

В завершение работы необходимо создать компоновку на листе формата А3 альбомной ориентации, которая должна включать 5 карт: рельеф; карта уклоны склонов, экспозиции склонов, типы растительного покрова и типы почв на водосборе р. Усьва до с. Бобровка. Пример итоговой карты приведен на рис. 5.20.

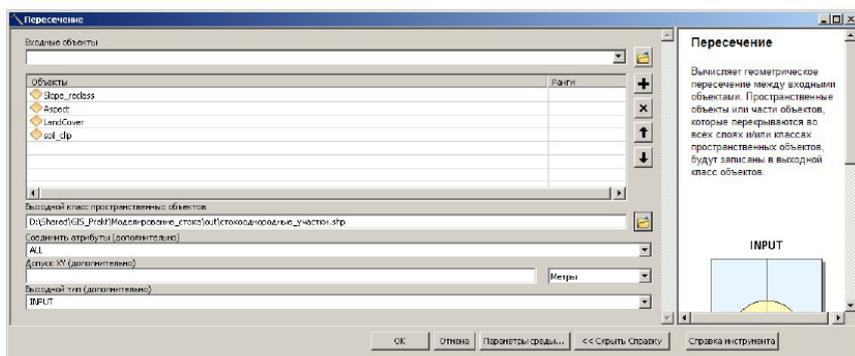


Рис. 5.19. Определение стокооднородных участков путем пересечения входных данных

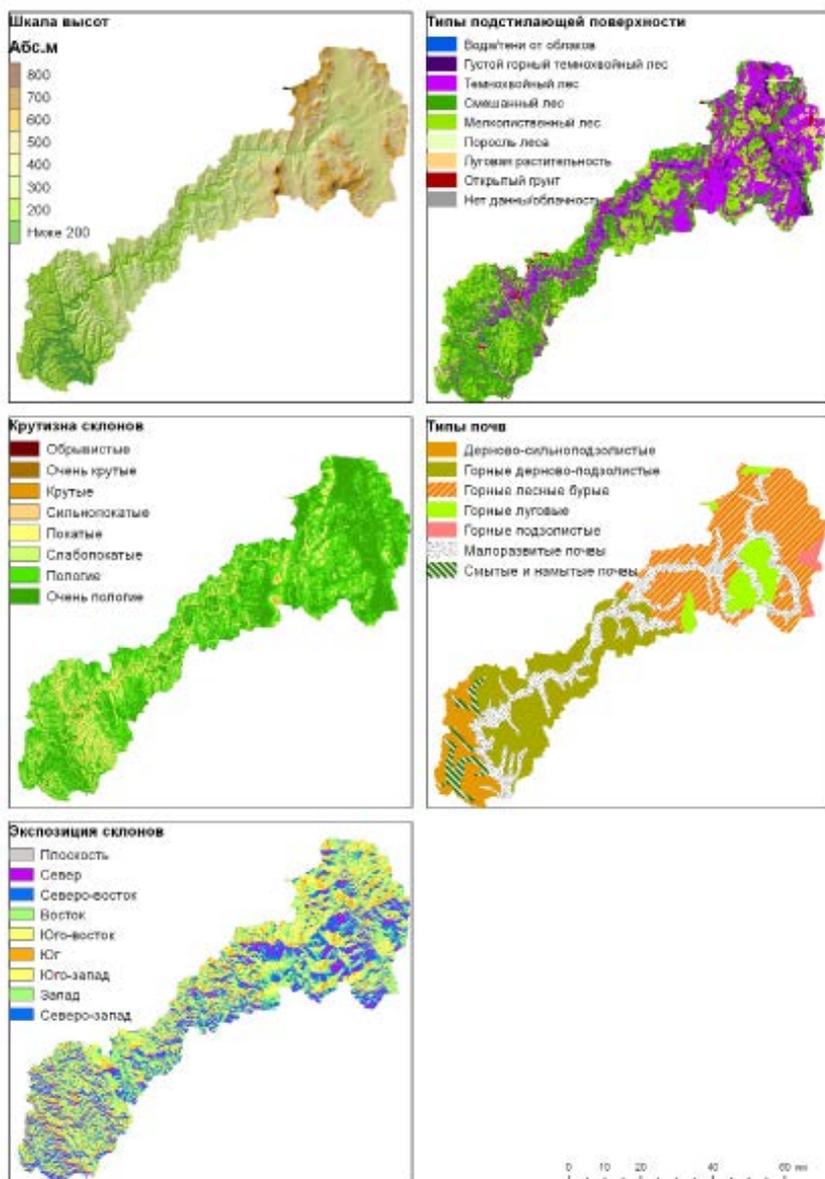


Рис. 5.20. Готовая компоновка карты

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время интенсивное развитие ГИС-технологий и возможностей геоинформационного картографирования способствует все более широкому внедрению их во всех областях географических исследований, в том числе и в гидрологии. В данном учебно-методическом пособии рассмотрены возможности решения ряда гидрологических задач с применением ГИС-технологий. Это, во-первых, задачи, решаемые на основе цифровых моделей рельефа (определение границ водосборных бассейнов и некоторых их гидрографических характеристик в автоматизированном режиме; определение границ возможного затопления при прохождении паводков и половодий редкой повторяемости в пределах населенных пунктов). Во-вторых, некоторые задачи, для решения которых используются общедоступные данные дистанционного зондирования Земли среднего разрешения (классификация типов растительного покрова на водосборах, выявление зон затопления). И, в-третьих, новые возможности обработки данных гидрометеорологических наблюдений с учетом влияния рельефа местности (методы интерполяции температуры воздуха, осадков, снегозапасов), построение климатических карт.

Однако на этом возможности применения ГИС-технологий в гидрологических исследованиях далеко не исчерпываются. В настоящее время с использованием программных продуктов и средств ГИС возможно выполнить весь комплекс работ по оценке условий формирования стока на водосборах и реализовать распределенные модели формирования стока. Основным препятствием для их широкого внедрения и использования в оперативной практике гидрологических расчетов и прогнозов являются уже не технологические и вычислительные ограничения, а дефицит исходных данных (прежде всего о свойствах почвогрунтов на водосборах) и редкая сеть гидрометеорологических наблюдений.

Литература

1. Антохина Е.Н. Водный режим рек Европейской территории России и его изучение на основе модели формирования стока: дис. канд. геогр. наук. М., 2012. 219 с.
2. Изображения Земли из Космоса: Примеры применения. М: ИТЦ СканЭкс, 2005. 85 с.
3. Калинин Н.А., Фрик Л.В., Смирнова А.А. Исследование влияния рельефа Пермского края на распределение полей осадков // Геогр. вестник. 2008. № 2. С. 187-195.
4. Коновалова Н.В., Коробов В.Б., Васильев Л.Ю. Интерполирование климатических данных при помощи ГИС-технологий // Метеорология и гидрология. 2006. № 5. С. 46-53.
5. Копылов В.Н. Космический мониторинг окружающей среды. Ханты-Мансийск: Полиграфист, 2008. 216 с.
6. Мальцев К.А., Ермолаев О.П. Использование цифровых моделей рельефа для автоматизированного построения границ водосборов // Геоморфология. 2014. №1. С. 45-53.
7. Миллер Г.П. Полевая ландшафтная съемка горных территорий. Киев, 1996.
8. Постнова И.С., Яковченко С.Г., Дмитриев В.О. Технология оценки с помощью ГИС зон затопления весенними паводками малой обеспеченности // Вычислит. технологии. 2005. Т. 10, ч. 2, С. 39 – 46.
9. Пьянков С.В., Калинин В.Г. Применение геоинформационных технологий в гидрологических исследованиях. Пермь, 2010. 217 с.
10. Семенова О.М. Анализ и моделирование процессов формирования стока в малоизученных бассейнах (на примере р. Лены): автореф. дис. канд. техн. наук. СПб., 2008. 29 с.
11. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. Вып. 9: Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области и Башкирская АССР. Ч.4: Влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров. 372 с.
12. Шавнина Ю.Н., Пьянков С.В., Михайлов А.В., Немтин Г.Н., Соболева Е.Б. Анализ системы водоподпорных гидротехнических сооружений с использованием геоинформационных технологий. Пермь, 2011. 208 с.
13. Шутов В.А. Методы анализа пространственной изменчивости снегозапасов // Изв. РАН. Сер.: Географическая. 1998. №1. С. 122-132.

14. Яковченко С.Г. Создание геоинформационных систем в инженерной гидрологии: дис. д-ра техн. наук. Барнаул, 2007. 406 с.
15. Яковченко С.Г., Постнова И.С., Жоров В.А., Ловцкая О.В., Дмитриев В.О. Районирование территории по степени опасности и оценка рисков наводнений с использованием ГИС-технологий // Вычислит. технологии, 2006. Т. 11, ч. 2. С. 87-93.
16. ArcGis 9 Spatial Analyst: руководство пользователя // GIS by ESRI. 2004. 216 с.
17. Bontemps S., Defourny P., Van Bogaert E. GLOBCOVER 2009: Products Description and Validation Report. ESA, 2010. URL: http://globcover.s3.amazonaws.com/LandCover2009/GLOBCOVER2009_Validation_Report_1.0.pdf (дата обращения: 00.00.2014).

Учебное издание

**Шихов Андрей Николаевич
Черепанова Екатерина Сергеевна
Пономарчук Алексей Иванович**

**ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ
Применение ГИС-технологий
при решении гидрологических задач**

Практикум

Учебное пособие

Редактор А.В. Хлебникова
Корректор М.Н. Демидова
Компьютерная верстка Е.С. Черепановой

Подписано в печать 16.10.2014. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 5,35. Тираж 50 экз. Заказ

Издательский центр
Пермского государственного
национального исследовательского университета.
614990, г. Пермь, ул. А.И. Букирева, 15