Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
Базовая кафедра геоинформационных систем

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В. И. Харук
«___» _____ 2016 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

09.03.02 - Информационные системы и технологии

Разработка ГИС технологии для оценки изменчивости гидрологического режима рек Сибирского региона.

Руководитель _____ доцент, канд. техн. наук А.В.Картушинский
подпись, дата

Выпускник _____ Р.К.Торгашин
подпись, дата

Нормоконтролер _____ Е.В. Федотова
подпись, дата

Красноярск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

Введение 2
1 Обзор предметной области по вопросам оценки гидрологического режима рек 6
1.1 Гидрологический режим рек 6
1.2 Исходные данные для создания геоинформационной системы 8
2 Используемые программные обеспечения 9
2.1 ГИС ArcGIS 9
2.2 Программное обеспечение Global Mapper 11
2.3 Программа для работы с таблицами MS Excel 13
3 Создание слоёв и атрибутивных таблиц данных 15
3.1 Получение и обработка данных в программе Global Mapper 15
3.2 Создание слоёв рек и их бассейнов в формате шейп-файлов 15
3.3 Проведение анализа рельефа в программе ArcGIS 19
4. Анализ трендов температур по бассейнам 31
Заключение 37
Список использованных источников 38

ВВЕДЕНИЕ

Происходящие и ожидаемые изменения климата в первой половине XXI века являются причиной изменения водохозяйственной обстановки. В ряде регионов России эти изменения носят позитивный характер, например, в отношении величины возобновляемых водных ресурсов, разбавляющей способности водных потоков, более поздних сроков замерзания рек и уменьшения продолжительности ледостава и т.п. Одновременно возникает риск опасных гидрологических процессов, обусловленных изменением составляющих водного баланса речных бассейнов: происходит увеличение экстремальных расходов и уровней воды, водоносности рек. Особенное значение таких рисков приобретает в Сибирском регионе в связи с мощными амплитудами колебаний температуры воздуха и количества атмосферных осадков, вызывающих значительные колебания уровня рек региона [1].

Предупреждение риска опасных гидрологических процессов требует научного обоснования соответствующих методов защиты, разработки надежных систем и методов анализа, расчета и прогноза элементов гидрологического режима водоемов суши. Одним из важных факторов обеспечения устойчивого развития регионов России является анализ изменчивости гидрологического режима рек. В формировании гидрологического режима рек исследуемого региона участвует сложный комплекс физико-географических условий. К числу основных факторов, определяющих особенности структуры водного баланса и гидрологического режима территории, относятся климат, рельеф и почвенно-растительный покров. Эти факторы тесно связаны между собой и воздействуют не только непосредственно, но и через другие факторы. Изучение закономерностей формирования водных ресурсов территории требует учета всего комплекса локальных географических и метеорологических условий. Одним из наиболее важных факторов является рельеф. Рельеф – совокупность неровностей земной поверхности, образующихся в результате экзогенных и эндогенных процессов на Земле. Сочетание близких по облику и происхождению

форм рельефа образует разнообразные типы рельефа (равнинный, холмистый, горный и др.). Самыми распространенными типами рельефа являются следующие.

Равнина – участок земной поверхности, характеризующийся незначительными уклонами и колебаниями высот. В совокупности равнины занимают большую часть поверхности Земли и являются важнейшим элементом рельефа.

Плоскогорье – обширный участок земной поверхности, представляющий собой горную равнину, характеризующуюся значительным эрозионным расчленением.

Гора – возвышенность на участке суши земной поверхности, куполообразной или конической формы, со склонами значительной крутизны.

По всем этим типам рельефа протекают реки. Реки, текущие по равнинной местности, имеют медленное течение. Объясняется это тем, что истоки равнинных рек находятся на небольшой высоте, а местность, по которой они текут, имеет малый уклон. Истоки горных рек расположены высоко в горах. Их воды несутся по разрезающим горы долинам с огромной скоростью, бурлят, пенятся. Выйдя на равнину, река становится спокойной. Горные реки, как правило, текут в узких, скалистых долинах с крутыми склонами. Десятки и даже сотни тысяч лет уходят на то, чтобы река прорезала в горах долину. Узкие долины называют ущельями. Долины равнинных рек, в противоположность горным, широкие. Большое влияние рельеф оказывает на отдельные элементы водного баланса речных бассейнов: осадки, инфильтрацию влаги в почво-грунты и испарение. Это влияние рельефа проявляется различно в зависимости от крупности его форм. Особенно значительно оно в горах, где с высотой местности увеличивается годовая сумма осадков, снижается температура воздуха, следствием чего является уменьшение испарения и соответственно увеличение стока. С высотой, как правило, увеличивается доля твердых осадков, что приводит к увеличению коэффициента стока, а, следовательно, и величины стока, а также к существенному изменению водного

режима, наиболее выраженному на высокогорных реках с ледниковым питанием. В горах происходит перераспределение твердых осадков в речном бассейне. В горных котловинах, глубоких ущельях, у подножия горных склонов в результате схода снежных лавин и ветровой миграции скапливаются большие массы снега, талые воды которых служат источником питания горных рек в летний период [1].

На территории Сибирского региона находится большое количество рек, которые играют огромную роль в большинстве отраслей экономики региона. И поэтому необходимость анализа и контроля изменчивости гидрологического режима водных объектов становиться все более актуальной задачей в последнее время. Решение данной проблемы позволит снизить вероятность возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с осенне-весенними половодьями, позволит прогнозировать появление опасных гидрологических процессов, способных причинить ущерб экономике региона, и разработать мероприятия по предотвращению неблагоприятных последствий и минимизации ущерба на водных объектах [1].

Анализ изменчивости гидрологического режима рек Сибирского региона должен опираться на информационные и программные средства, включающие в себя базу данных наблюдений и программное обеспечение для применения методов статистического анализа [1].

Наиболее перспективным направлением информационного обеспечения экологической деятельности является разработка тематических геоинформационних систем (ГИС), в основе которых лежит картографирование. Геоинформационные системы с каждым годом применяются все более часто, в том числе и в области инженерной гидрологии [1].

Цель работы: разработка ГИС технологии для анализа рельефа, влияющего на режим реки.

Задачи:

- получить цифровые модели рельефа исследуемых рек;

- определить параметры рельефа (экспозиция и крутизна склонов) с помощью программного обеспечения ArcGIS;

- провести анализ влияния рельефа на режим рек.

1 Обзор предметной области по вопросам оценки гидрологического режима рек

1.1 Гидрологический режим рек

Гидрологический режим реки представляет собой закономерные изменения состояния водного объекта во времени (уровня и расхода воды, ледовых явлений и т. д.), обусловленные физико-географическими свойствами бассейна и в первую очередь климатическими особенностями данного бассейна [2]. На изменения гидрологического режима реки немалое влияние оказывает изменение гидрологических показателей водоема. К основным гидрологическим показателям относятся:

- годовой сток воды, л/сек км^2 ;
- максимальный сток воды весеннего половодья и дождевых паводков, л/сек км^2 ;
- минимальный сток воды рек, л/сек км^2 ;
- наивысший уровень воды в реке, м;
- характерные уровни воды, высшие для рек с устойчивым ледоставом, м.

Выделяют следующие фазы водного режима.

Половодье – фаза водного режима рек, характеризующееся ежесезонным увеличением объема речной воды, сопровождающимся поднятием ее уровня и выходом реки из русла с затоплением поймы [3].

Паводок – фаза водного режима рек, характеризующееся недолгим по времени повышением уровня воды, являющимся следствием быстрого таяния снега при оттепели зимой или обильных дождей летом. Сильный паводок может стать причиной наводнения – затопления местности [3].

Межень – фаза водного режима рек, характеризующееся ежесезонным уменьшением объема речной воды, сопровождающимся снижением уровня воды. Межень вызывается продолжительными периодами сухой (летняя или летне-

осенняя межень) или морозной (зимняя межень) погоды, когда питание реки происходит главным образом за счет грунтовых вод [3].

Ледостав – фаза водного режима рек, во время которого вода в водоемах скрывается под ледяным покровом. Продолжительность ледостава зависит от длительности и характера зимы, типа водоема, толщины снежного покрова. Ледоход – фаза водного режима рек, характеризующееся движением льдин и ледяных полей вниз по течению реки [3].

Тип водного режима реки зависит от климатической зоны, в которой она расположена.

Экваториальный пояс – реки этого типа водного режима отличаются многоводностью круглый год с некоторым увеличением стока в осенний период; питание рек – дождевое [3].

Тропическая саванна – для рек этого типа водного режима характерна многоводность во влажные периоды и понижение объема воды в сухие периоды; питание рек – преимущественно дождевое; сток рек увеличивается в летнее время. Влажная саванна отличается продолжительным, 8-9 месяцев, половодьем, сухая саванна - не более трех месяцев [3].

Субтропики средиземноморского типа – для рек этого типа водного режима характерна средняя и низкая водность; сток рек увеличивается в зимнее время [3].

Приокеанические субтропики - в реках этого типа водного режима наблюдается повышенная водность в летнее время, когда с океана дуют муссонные ветра, зимой с изменением направления муссонных ветров водность рек понижается. Такой водный режим характерен для Флориды, низовьев Янцзы и прилегающих районов Юго-Восточной Азии [3].

Умеренный пояс Северного полушария – в весеннее время наблюдается повышенная водность. Половодье в южных районах вызывают сильные ливни, в средней полосе и на севере – таяние снегов. Для средней полосы и северных районов также характерна летняя и зимняя межень [3].

Умеренный пояс в условиях резко континентального климата – в весеннее время наблюдается кратковременное половодье, в течение остального времени года реки пересыхают. Такой водный режим характерен для Северного Прикаспия и равнинного Казахстана [3].

Дальний Восток – водный режим рек определяется муссонами; половодье, вызываемое дождями, характерно для летнего времени [3].

Районы многолетней мерзлоты– зимой реки пересыхают. Для некоторых рек Восточной Сибири и Урала характерно образование наледей при замерзании периодически изливающейся из трещин в ледовом покрове воды. Весеннее половодье в Субарктике переходит на лето, так как таяние снегов начинается поздно весной. Для ледников Антарктиды и Гренландии во время недолгого лета характерно образование своеобразных рек, текущих в ледяных руслах [3].

1.2 Исходные данные для создания геоинформационной системы

В работе использованы гидрологические данные с различных постов наблюдения гидросети рек Восточной и Западной Сибири. Исходные значения представлены по ряду рек Кемеровской области, Красноярского края и Иркутской области. Для анализа влияния рельефа на изменчивость гидрологического режима рек были использованы данные, полученные из программы Global Mapper.

Исходные значения уровня воды представлены для Кемеровской области, Красноярского края и Иркутской области по ряду рек: Пойма, Большой Кемчуг, Большой Улуй, Антибес, Большая Уря, Есауловка, Кан, Кимельтей, Курзанка, Лебяжья, Уда. Исходные данные, полученные с гидрологических постов наблюдения, предоставлены в виде электронных таблиц формата “.xls”.

Из условия наиболее близкого расположения с исходными гидрологическими постами наблюдений, из множества представленных метеостанций выбраны следующие:

- г. Ачинск − река Большой Улуй;

- г. Болотное − река Лебяжья;
- г. Канск − реки Кан и Пойма;
- п. Кемчуг − река Большой Кемчуг;
- г. Красноярск − река Есауловка;
- г. Мариинск − река Антибес;
- г. Нижнеудинск − река Уда;
- с. Солянка − река Большая Уря;
- г. Тулун − реки Курзанка и Кимельтей.

Были предоставлены гидрологические данные с различных постов наблюдения гидросети рек Восточной и Западной Сибири по соответствующим показателям: среднесуточные значения уровня воды за многоводный, маловодный и средний по водности годы наблюдения, высший годовой уровень воды, высота выхода воды на пойму, высота полного затопления поймы.

Для формирования объединенного банка данных используется пакет программных средств Microsoft Office Excel. Банк данных представляет собой электронную таблицу с упорядоченными значениями основных гидрологических характеристик по соответствующим рядам наблюдений. Таблица содержит информацию о названии реки, названии населенного пункта в котором расположен гидрологический пункт наблюдения, годах наблюдений, среднесуточных значениях уровня воды в многоводный, маловодный и средний по водности годы наблюдений.

2 Используемые программные обеспечения

2.1 ГИС ArcGIS

ArcGIS является масштабируемой системой для создания, управления, интеграции и анализа географических данных для любой организации, от индивидуума до большой корпорации. Построенная с использованием стандартов, таких как компонентная модель объектов (COM), расширяемая

спецификация языка для создания web-страниц (XML), структурированный язык запросов (SQL), ArcGIS может быть интегрирована со структурой информационной системы любой организации [4].

Учитывая то, что ГИС распространяется на новые области применения и новые сообщества пользователей, ArcGIS решает также задачи предложения и получения данных и соответствующих ГИС-услуг для пользователей по всему миру. Сильные функции редактирования, анализа и моделирования вместе с самыми современными моделями данных и управлением, делают семейство программных продуктов ArcGIS лидером среди программного обеспечения ГИС.

В ArcGIS 10.3 включен новый набор модулей расширения, построенных в одной архитектуре и добавляющих специфическую функциональность к ArcView 10.3, ArcEditor и ArcInfo. Разработчики ESRI перестроили модули под новую архитектуру, но с сохранением всей функциональности существующих модулей для ArcView и ArcInfo. Список модулей линии 10.3 включает ArcGIS Spatial Analyst, ArcGIS 3D Analyst, ArcGIS Geostatistical Analyst, ArcPress for ArcGIS, ArcGIS StreetMap, а также MrSID Encoder for ArcGIS.

Таблица 1. Модули расширения ArcGIS для версии 10.3

Название	Функциональность
ArcGIS Spatial Analyst	Создание поверхностей, растровый анализ, алгебра гридов. Объединяет возможности ArcView Spatial Analyst и ARC GRID
ArcGIS 3D Analyst	Трехмерная визуализация и анализ. Объединяет возможности ArcView 3D Analyst и ARC TIN
ArcGIS Geostatistical Analyst	Новый модуль для усложненной интерполяции поверхностей и исследовательского анализа пространственных данных
ArcGIS StreetMap	Семейство программных продуктов для отображения уличной сети и геокодирования различных географических областей (для Соединенных Штатов и Европы)
ArcPress for ArcGIS	Графический растеризатор, который улучшает контроль результирующей цветовой гаммы и скорость печати . Объединяет ArcPress for ArcInfo и ArcPress for ArcView GIS

Окончание таблицы 1

MrSID Encoder for ArcGIS	Создает изображения MrSID для входных изображений до 500 МБ и строит мозаику изображений MrSID
TIFF/LZW Compression for ArcGIS	Дает право на использование технологии сжатия TIFF/LZW, запатентованную UNISYS

2.2 Программное обеспечение Global Mapper

Геоинформационная система Global Mapper поддерживает огромное число форматов, которые широко используются в различных географических и геологических проектах. Программа также работает с векторными и растровыми изображениями [5].

Особый акцент сделан на обработку цифровых моделей рельефа и трёхмерного представления данных, которые позволяют строить линии водоразделов, измерять объёмы тел, оптимально вырезать части, выполнять оптимизацию, производить расчет растра, настраивать его параметры и создавать цифровые модели рельефа и местности, формировать контуры, и многое другое [5].

Дополняя эти мощные инструменты анализа, существует полный набор растровых и векторных данных для создания и редактирования функций, которые предлагают все, начиная от простого и интуитивного рисования до выпрямления изображений и векторизации [5].

Также можно смоделировать уровень подъема моря, сравнить грунтовые слои и провести триангуляцию. Новый модуль LiDAR (появился в 16-ой версии) позволяет совмещать одновременно функции двумерного и трёхмерного просмотра. Основное его предназначение – реалистичное отображение пространства карты. Именно для этого были добавлены новые текстуры деревьев и зданий. Авторы постарались оптимизировать и ускорить работу приложения с 3D-объектами, а также уменьшить время на контурную генерацию [5].

Основное достоинство программы заключается не столько в функционале, сколько в удобном представлении данных и в возможности открыть почти любой картографический файл. Разработчики создавали данное приложение не только для профессионалов, но и для новичков [5].

Изначально программа разрабатывалась для Геологической службы США, поэтому многие функции ориентированы именно на Северную Америку. После многочисленных правок и изменений Global Mapper получил мировое признание.

С помощью Global Mapper можно просматривать форматы: DLG-O, DRG, DOQ, DEM, DGN, DXF, SDTS DLG, SDTS DEM, ECW, MrSID, ESRI Shapefiles, E00, MapInfo MIF/MID, MapInfo TAB/MAP, GTOPO30, TerrainBase, SRTM, ETOPO2, ENVI DEM, JPG, PNG, BIL, BSQ, BIP, XYZ, Tiger/Line, Arc Vector Coverages, VPF (VMAP, DNC), S-57, ADRG, CADRG, CIB, JPEG2000, GIF, NOS/GEO, Garmin PCX5, GPX (GPS eXchange Format), OziExplorer WPT/PLT, Zmap Plus. Используя встроенный скриптовый язык, можно упростить работу, задав повторяющиеся задания в качестве выполняемой функции [4].

Возможности программы:

- поддержка просмотра основных форматов данных;
- прямой доступ к DigitalGlobe, TerraServer-USA, WMS и другим источникам
- поддержка просмотра 3D ландшафтов;
- обрезание, перепроектирование и слияние любых комбинаций растровых данных и данных возвышенностей;
- совместимость с GPS устройствами через компьютерный серийный порт или USB порт;
- оцифровывание новых векторов с возможностью их перемещения;
- поддержка конвертации между большим списком проектных систем и исходных данных;
- экспорт в векторные и растровые данные;
- графическое исправление любых JPG, TIFF или PNG изображений и сохранение результатов в новое изображение;

- создание контуров для любых комбинаций данных возвышенностей;

- загрузка и отображение JPG изображений со встроенными EXIF данными о позиции;

- поддержка NASA World, Google Maps, Virtual Earth.

2.3 Программа для работы с таблицами MS Excel

Программа Microsoft Office Excel предназначена для работы с электронными таблицами, которая позволяет хранить, организовывать и анализировать информацию [6].

Это универсальная программа, которая позволяет работать с различными форматами данных. В Excel можно производить как простые, так и очень сложные расчеты, хранить данные, организовывать различные дневники, составлять отчеты, строить графики, диаграммы и многое-многое другое.

Программа Excel входит в состав пакета Microsoft Office, который состоит из целого набора продуктов, позволяющих создавать различные документы, электронные таблицы, презентации и многое другое [6].

Помимо программы Microsoft Excel существует еще целый ряд похожих программ, которые также в своей основе используют работу с электронными таблицами, но Excel однозначно самая популярная и мощная из них, и по праву считается флагманом этого направления.

У Microsoft Excel существует множество достоинств, но самым весомым является, конечно же, ее универсальность. Варианты применения Excel практически безграничны, поэтому, чем больше у вас багаж знаний по этой программе, тем большее число применений вы сможете для нее найти. Возможные области применения приложения Microsoft Office Excel:

- работа с числовыми данными. Например, составление самых различных бюджетов, начиная от домашнего, как самого простого, и, заканчивая бюджетом крупной организации;

- работа с текстом. Разнообразный набор инструментов для работы с текстовыми данными дает возможность представить даже самые сложные текстовые отчеты;

- создание графиков и диаграмм. Большое количество инструментов позволяет создавать самые различные варианты диаграмм, что дает возможность представить ваши данные наиболее ярко и выразительно;

- создание схем и рисунков. Помимо графиков и диаграмм, Excel позволяет вставлять на рабочий лист множество различных фигур и рисунки SmartArt. Эти инструменты значительно увеличивают возможности визуализации данных в программе;

- организация списков и баз данных. В Microsoft Office Excel изначально была заложена структура строк и столбцов, поэтому организовать работу со списками или создать базу данных является для Excel элементарной задачей;

- импорт и экспорт данных.Excel позволяет обмениваться данными с самыми различными источниками, что делает работу с программой еще более универсальной;

- автоматизация однотипных задач. Использование макросов в Excel позволяет автоматизировать выполнение однотипных трудоемких задач и свести участие человека до единственного щелчка мышью для запуска макроса;

- создание панелей управления. В Excel существует возможность размещать элементы управления прямо на листе, что позволяет создавать наглядные интерактивные документы;

- встроенный язык программирования. Встроенный в приложение Microsoft Excel язык программирования Visual Basic for Applications (VBA) позволяет расширить возможности программы как минимум в несколько раз. Знание языка открывает для вас совершенно новые горизонты, к примеру, создание своих пользовательских функций или целых надстроек.

3 Создание слоёв и атрибутивных таблиц данных

3.1 Получение и обработка данных в программе Global Mapper

На первом этапе анализа необходимо получить данные из программного обеспечения Global Mapper. Для этого в программе необходимо в главном окне выбрать «Download Free Maps/Imagery from Online Source». Это значит, что будут загружены карты из онлайн источника. Далее выбирается «World Topo Map», в которой находим фрагмент карты с изображением Сибирского региона, ищем необходимые нам реки и меняем карту на «ASTER GDEM v2». В главном окне появляется цифровая модель рельефа (ЦМР). Далее этот фрагмент экспортируется «File-Export-Export Elevation Grid Format». Сам формат выбирается как «USGS DEM». В этом же окне во вкладке «Export Bounds», нажимая на кнопку «Draw a box» выбираем нужную область, для того чтобы четко обозначить нужное место, иначе скачка карты займет очень много времени.

Полученный файл в формате .dem открываем в программе ArcGIS.

3.2 Создание слоёв рек и их бассейнов в формате шейп-файлов

Так как часть исходных данных были даны в формате шейп-файлов, а именно реки России, для начала был создан отдельных шейп-файл исследуемых рек.

В программе ArcGIS открывается “Каталог”, выбирается папка, в которой хранятся данные, и правой кнопкой мыши выбирается “новый-шейп файл”. Тип обектов выбирается Полилиния. Далее выбирается система координат WGS 1984. Чтобы создать полилинии, необходимо в панели Редактор начать редактирование. ArcGIS предложит, какой шейп-файл редактировать. Выбирается rivers.shp. В главном окне появляется блок «атрибуты», в котором выбирается полилиния. По итогу всех действий есть шейп-файл с 11 реками. Полученная карта бассейнов рек представлена на рисунке 1.

Полученные ранее фрагменты ЦМР исследуемых рек добавляются к проекту. Так как системы координат совпадают, то ЦМР накладываются корректно на шейп-файл с реками.

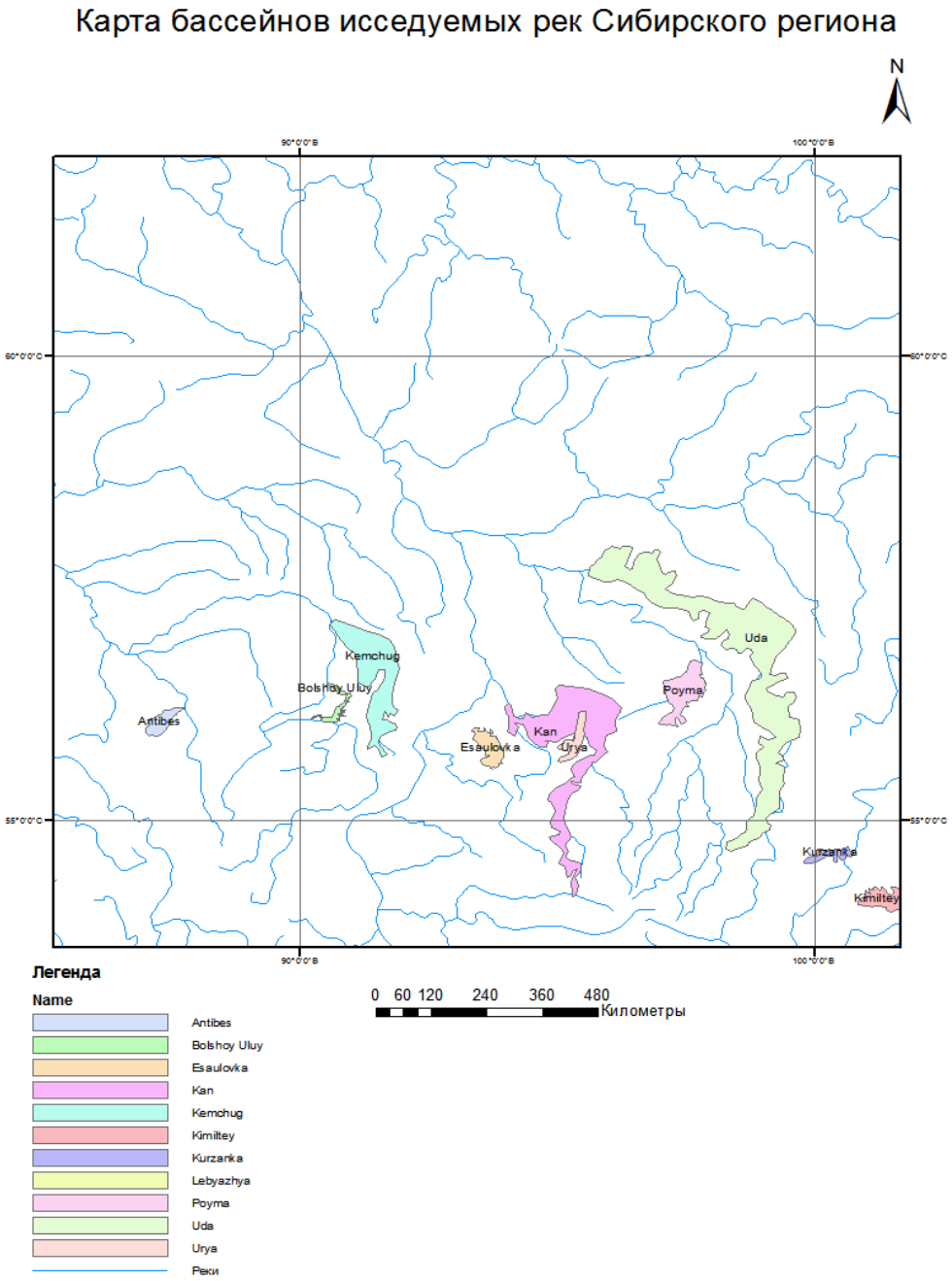

Рисунок 1 – Карта бассейнов исследуемых рек

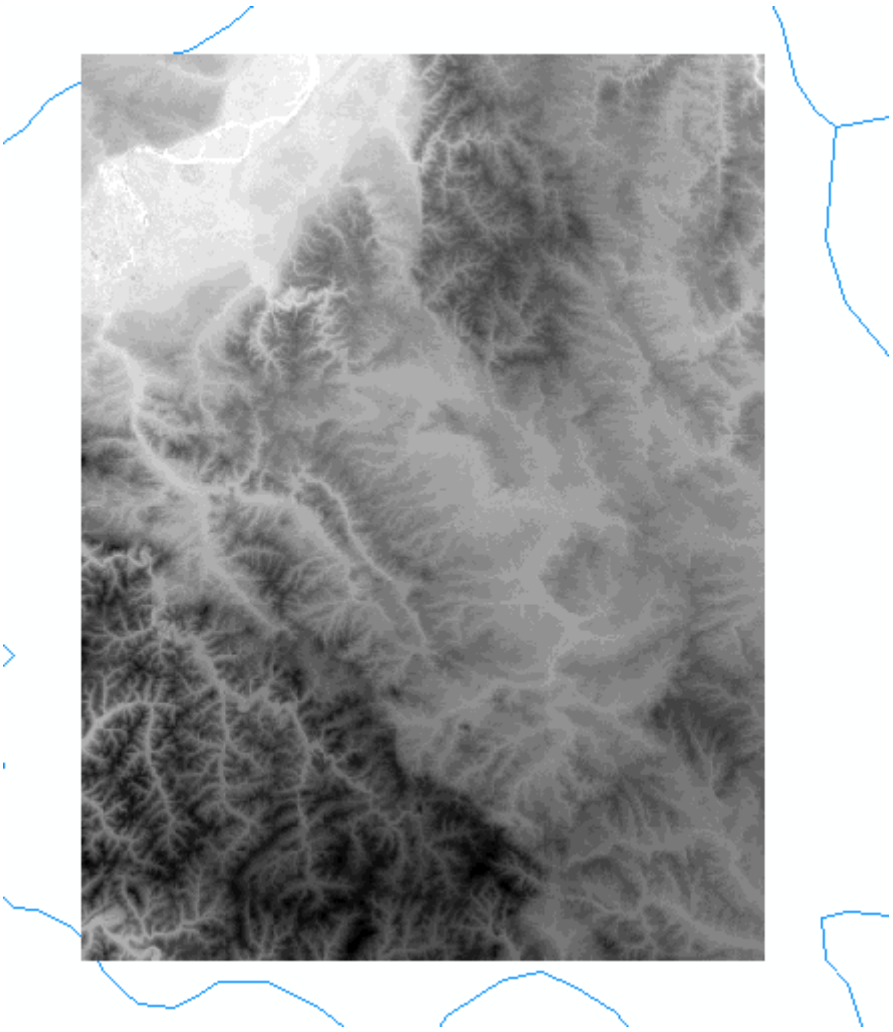

Рисунок 2 – Цифровая модель рельефа

Так как полученная ЦМР представлена в форме градаций серого, ее необходимо переклассифицировать и сменить цветовую гамму для более наглядного представления рельефа. Для этого заходим в «Свойства-Символы-Классификация». Изменяем цветовую схему на более пригодную для наглядности, а также увеличиваем количество классов с 5 до 20, для того чтобы можно было явно выделить бассейн каждой реки.

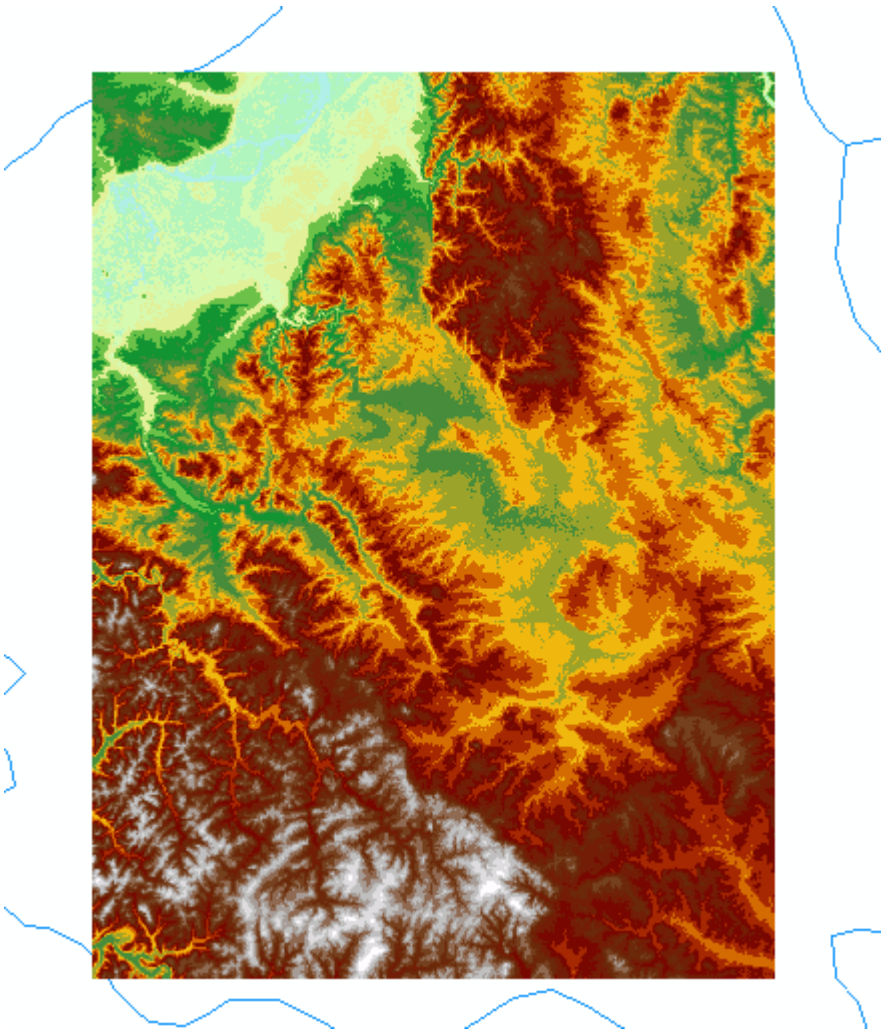

Рисунок 3– Переклассифицированный фрагмент ЦМР

Создание бассейнов рек подразумевает создание нового слоя шейп-файлов на основе ЦМР. По технологии, описанной ранее создается шейп-файл, но тип объектов ставится уже полигон. Технология создания бассейна реки определяется тем, что наивысшие точки рельефа являются границами бассейна.

Полученный бассейн реки Есауловки показан на рисунке 4.

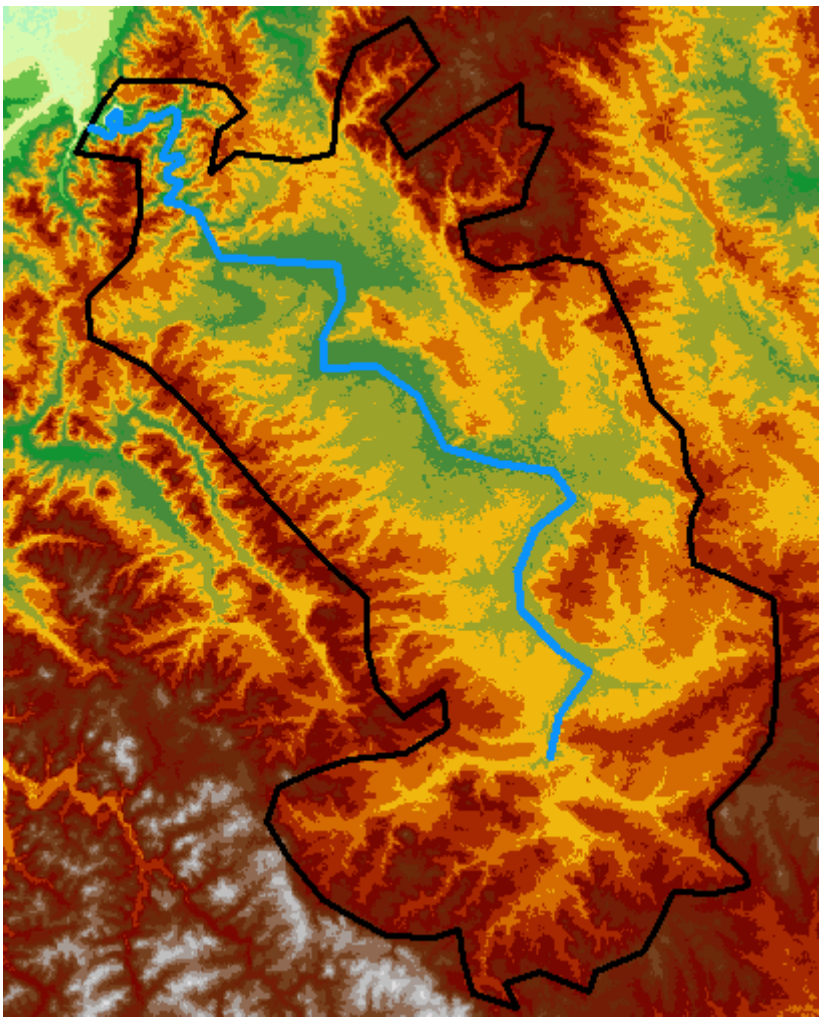

Рисунок 4 - Бассейн реки Есауловка

На примере реки Есауловка такая технология была применена к остальным 10 рекам.

3.3 Проведение анализа рельефа в программе ArcGIS

Анализ рельефа будет проводиться по параметрам экспозиция, уклон и зональная статистика. Все эти виды анализа находятся в ArcToolbox-Инстументы Spartial Analyst. Для расчета экспозиции и уклона необходимо открыть вкладку “Поверхность”. Инструмент Экспозиция (Aspect) устанавливает направление уклона максимальной скорости изменения значений от каждой ячейки до соседних. Ее можно рассматривать как направление уклона. Значения всех ячеек выходного растра указывают направление по компасу, с которым сталкивается

поверхность в этом местоположении. Оно измеряется по часовой стрелке в градусах от 0 (север) до 360 (снова север), проходя полный круг. Плоским областям, не имеющим направления вниз по склону, дается значение -1.

Значение каждой ячейки в наборе данных экспозиции указывает на направление вперед уклона ячейки.

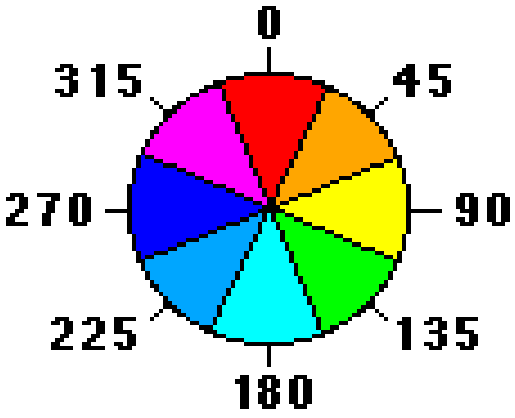

Рисунок 5 – Раскраска местности в зависимости от градуса экспозиции

В сущности, инструмент Экспозиция (Aspect) подбирает плоскость для z-значений из окрестности размером 3 x 3 ячейки вокруг обрабатываемой или центральной ячейки. Направление плоских граней является экспозицией обрабатываемой ячейки [7].

На следующей диаграмме показан входной набор данных рельефа и выходной растр экспозиции.

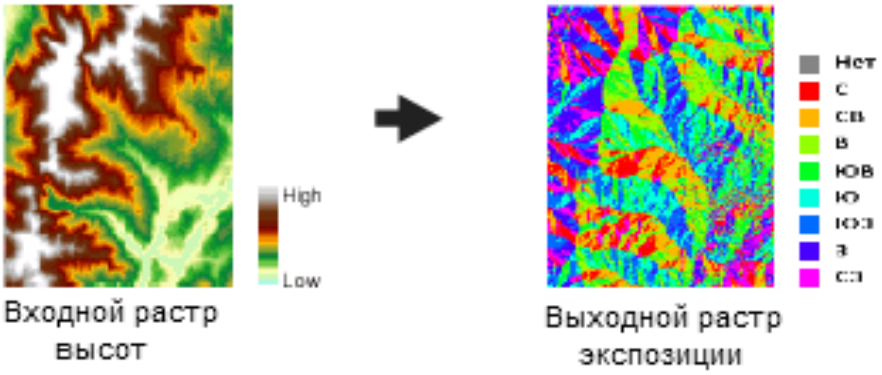

Рисунок 6 – Пример преобразования в экспозицию

С помощью инструмента Экспозиция (Aspect) можно сделать следующее:

- найти все направленные на север уклоны на горе как часть поиска лучших уклонов для лыжных трасс;

- вычислить солнечное освещение для каждой ячейки района как часть исследования для определения разнообразия жизни на каждом участке;

- найти все южные уклоны в горных районах для выявления тех местоположений, где снег тает раньше, как часть исследования для определения тех жилых местоположений, которые первыми пострадают от потока;

- определить области плоской поверхности, чтобы найти область для посадки самолета в случае чрезвычайной ситуации.

Скользящее окно размером 3 x 3 ячейки проходит через каждую ячейку на входном растре и для каждой ячейки, расположенной в центре окна, с применением алгоритма, учитывающего значения восьми соседних ячеек, вычисляется значение экспозиции. Ячейки обозначаются буквами от 'a' до 'i, при этом буква 'e' представляет ячейку, для которой вычисляется значение экспозиции [7].

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Рисунок 7 - Окно Поверхность

Степень изменения по направлению x для ячейки 'e' вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / 8$$

Степень изменения по направлению y для ячейки 'e' вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / 8$$

С учетом степени изменений по обоим направлениям, *x* и *y*, для ячейки '*e*', экспозиция вычисляется с использованием следующего уравнения:

$$aspect = 57.29578 * atan2 ([dz/dy], -[dz/dx])$$

Значение экспозиции затем конвертируется в значения направлений по компасу (0-360 градусов), в соответствии со следующим правилом:

if aspect < 0
cell = 90.0 - aspect else if aspect > 90.0
cell = 360.0 - aspect + 90.0
else
cell = 90.0 – aspect

В итоге был получен результат на примере реки Есауловка на рисунке 7.

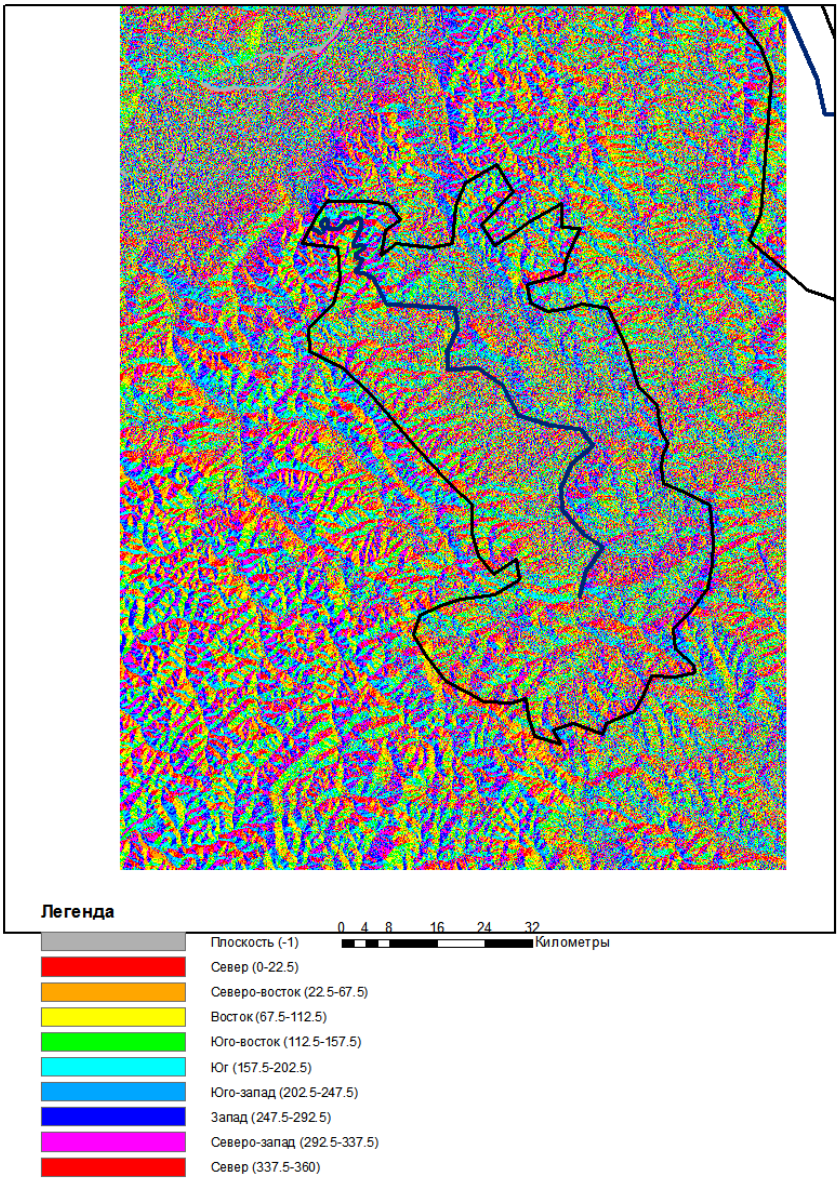

Рисунок 7 – Результат экспозиции по реке Есауловки

Следующий параметр для анализа был Уклоны. Для каждой ячейки инструмент Уклон (Slope) вычисляет максимальную степень изменения в значении z между конкретной ячейкой и соседними с ней ячейками. По сути, максимальная степень изменения в значениях высоты на единицу расстояния между ячейкой и восемью соседними с ней ячейками определяет самый крутой спуск вниз по склону из ячейки [7].

Концептуально, инструмент подбирает плоскость для z-значений из окрестности размером 3 x 3 ячейки вокруг обрабатываемой или центральной ячейки. Значение уклона этой плоскости вычисляется с использованием

методики усредненного максимума. Направление плоских граней является экспозицией обрабатываемой ячейки. Чем ниже значение уклона, тем более плоской является земная поверхность; чем выше значение уклона, тем более крутые склоны расположены на поверхности [7].

Если в окрестности есть ячейка с z-значением, равным NoData, этому местоположению будет присвоено z-значение центральной ячейки. На краю растра, по крайней мере три ячейки (за пределами экстента растра) в качестве z-значения будут иметь значение NoData. Этим ячейкам будет присвоено z-значение центральной ячейки. Результатом этой операции будет уплощение плоскости размером 3 x 3 ячейки, подобранной для этих краевых ячеек, что обычно приводит к уменьшению уклонов [7].

Выходной растр уклонов может быть вычислен в двух различных единицах измерения, в градусах или в процентах ('процент подъема'). Процент подъема можно лучше понять, если вы рассматриваете его как подъем, деленный на пробег (спуск), умноженный на 100. Рассмотрим треугольник B на рисунке внизу. Когда угол равен 45 градусам, подъем равен пробегу (спуску), а процент подъема равен 100 процентам. По мере того, как угол наклона приближается к вертикальному (90 градусов), как в треугольнике C, процент подъема стремится к бесконечности [7].

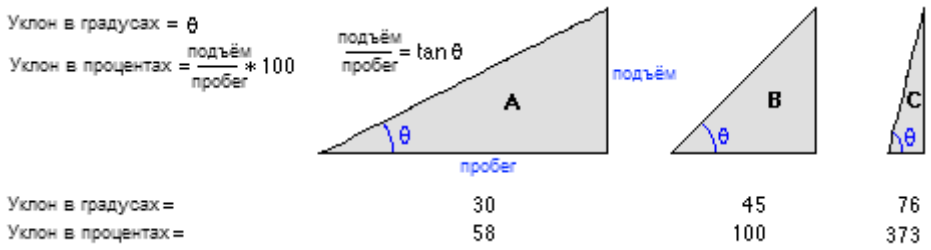

Рисунок 8 - Сравнение значений уклонов в градусах и процентах

Инструмент Уклон (Slope) чаще всего работает с набором данных высот, как показано на следующей диаграмме. Более крутые уклоны заштрихованы красным на выходном растре уклона [7].

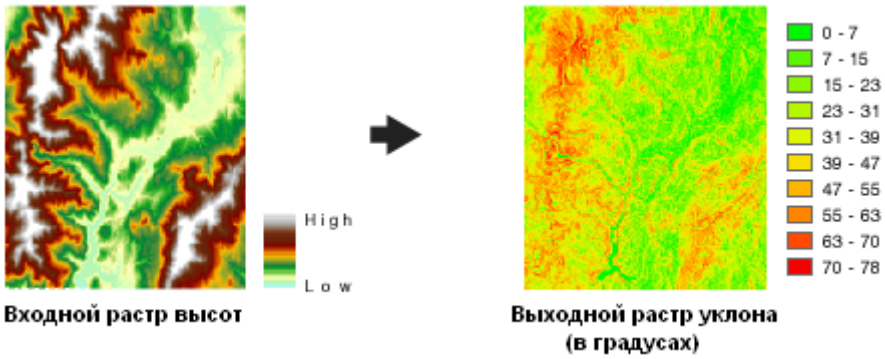

Рисунок 9 – Пример преобразования ЦМР в Уклоны

Инструмент также может использоваться с другими типами непрерывных данных, например, численность населения, для выявления резких изменений значения [7].

Уклон определяет степень изменения (дельту) поверхности в горизонтальном *(dz/dx)* и вертикальном *(dz/dy)* направлениях из центральной ячейки. Базовый алгоритм, используемый для вычисления уклона:

$$slope_radians = ATAN\ (\sqrt{([dz/dx]2 + [dz/dy]2)})$$

Уклон обычно измеряется в градусах, используя алгоритм:

$$slope_degrees = ATAN\ (\sqrt{([dz/dx]2 + [dz/dy]2)}) * 57.29578$$

Алгоритм уклона может быть проинтерпретирован также следующим образом:

$$slope_degrees = ATAN\ (rise_run) * 57.29578$$

где $rise_run = \sqrt{([dz/dx]2 + [dz/dy]2)}$.

Горизонтальную и вертикальную дельты определяют значения центральной ячейки и восьми соседних с ней ячеек. Соседние ячейки обозначаются буквами от 'a' до 'i', при этом буква 'e' обозначает ячейку, для которой вычисляется уклон [7].

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Рисунок 10 - Окно сканирования поверхности

Степень изменения по направлению x для ячейки 'e' вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g) / (8 * x_cellsize)$$

Степень изменения по направлению y для ячейки 'e' вычисляется с помощью следующего алгоритма:

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize)$$

В итоге был получен результат на примере реки Есауловка (рисунок 11).

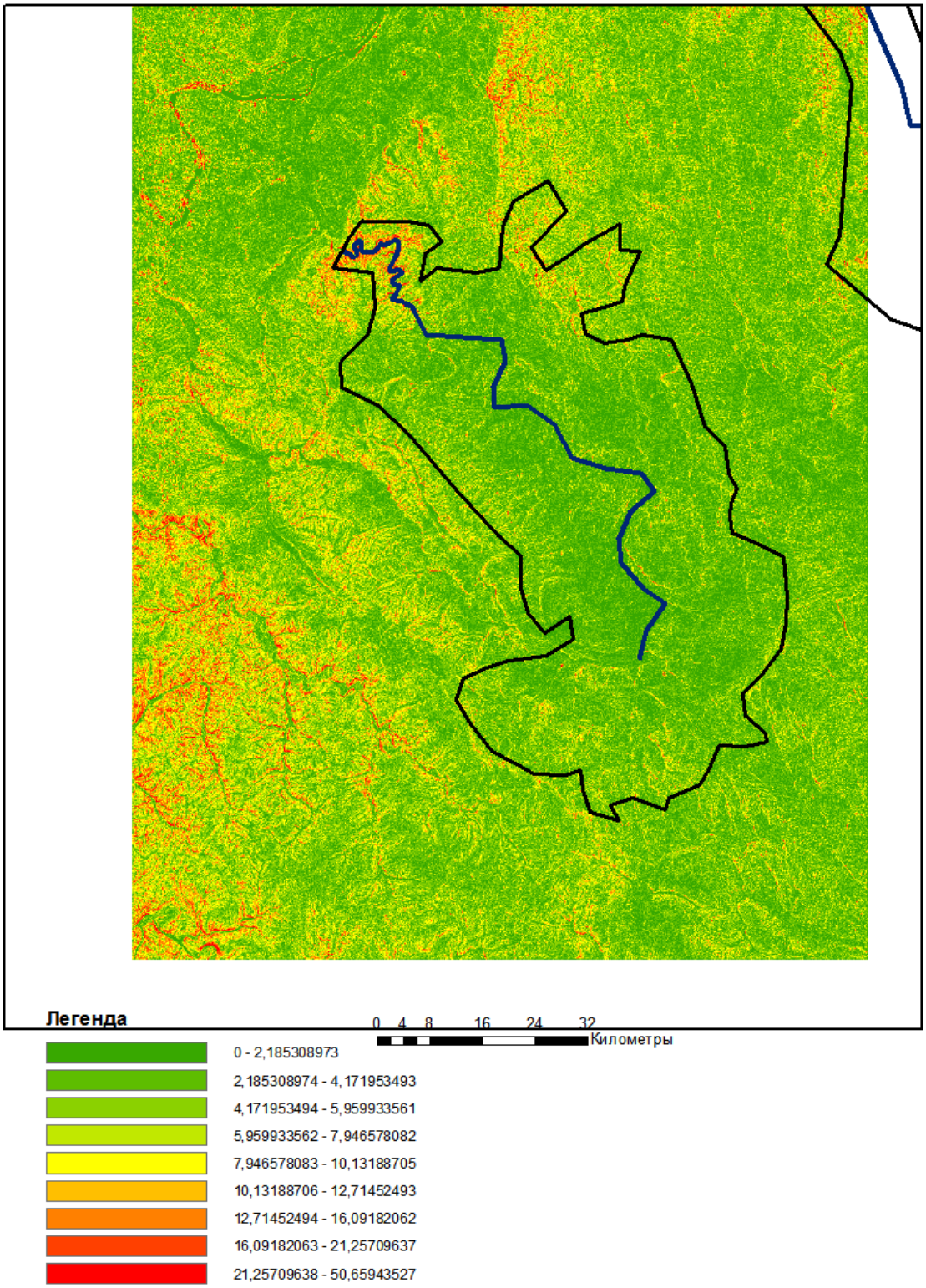

Рисунок 11 – Результат преобразования в уклоны

И последним параметрам был “Зональная Статистика”, находящийся в ArcToolbox-Инструменты Spartial Analyst-Зональные-зональная статистика в таблицу” [7].

С помощью инструмента Зональная статистика (Zonal Statistics) статистика вычисляется для каждой зоны, определенной набором данных зоны на основе значений из другого набора данных (растр значений). Для каждой зоны входного набора данных зоны вычисляется одно выходное значение.

Инструмент Зональная статистика в таблицу (Zonal Statistics as Table) вычисляет все, поднабор или одну статистику, корректную для определенных входных данных, но в качестве результата выдает таблицу вместо выходного растра [7].

Зона – это все ячейки растра, которые имеют одно значение, не зависимо от того, являются ли они непрерывными или нет. Входной слой зон определяет форму, значения и местоположения зон. Для входных данных зон указывается целочисленное поле, определяющее зоны. Также может использоваться строковое поле. Наборы растровых данных и наборы классов объектов могут использоваться для набора данных зоны [7].

Входной растр значений содержит входные значения, используемые в вычислении выходной статистики для каждой зоны [7].

На следующем рисунке слой Зона (Zone) показывает входной растр, который определяет зоны. Слой Значение (Value) содержит входные данные, для которых будет вычислена статистика для каждой зоны. В этом примере, для каждой зоны будет определяться максимальное из входных данных значений [7].

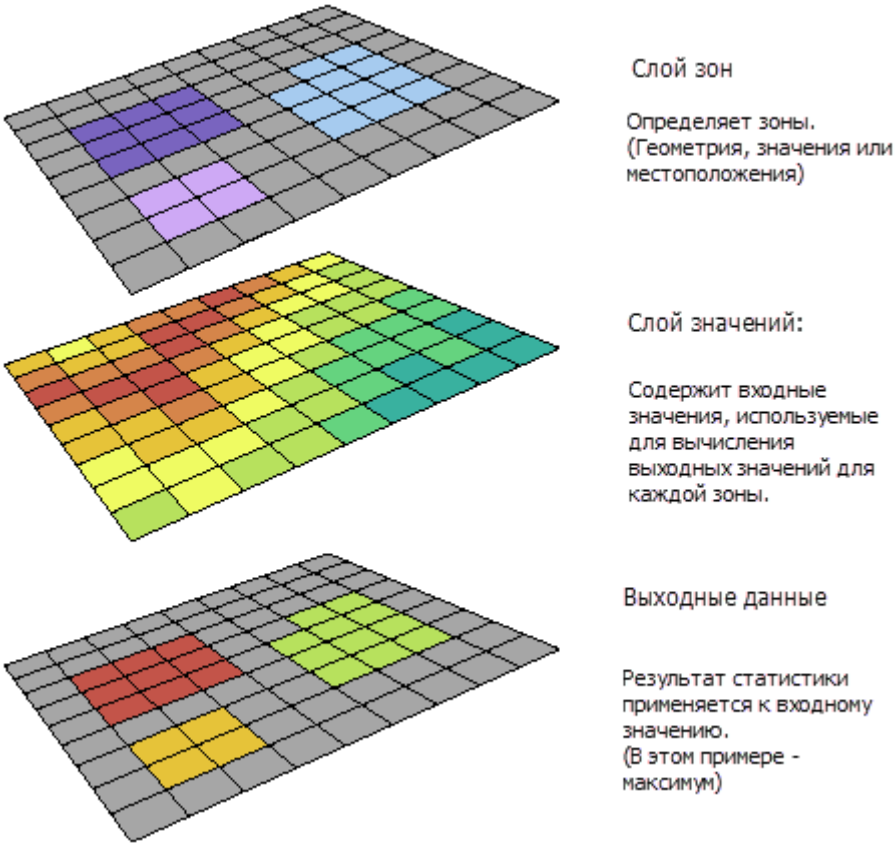

Рисунок 12 - Пример входных и выходных данных инструмента Зональная статистика

Для нашего анализа необходимо было взять Минимальные, максимальные и средние значения.

Максимум:

Самое большое значение каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.

Пример:

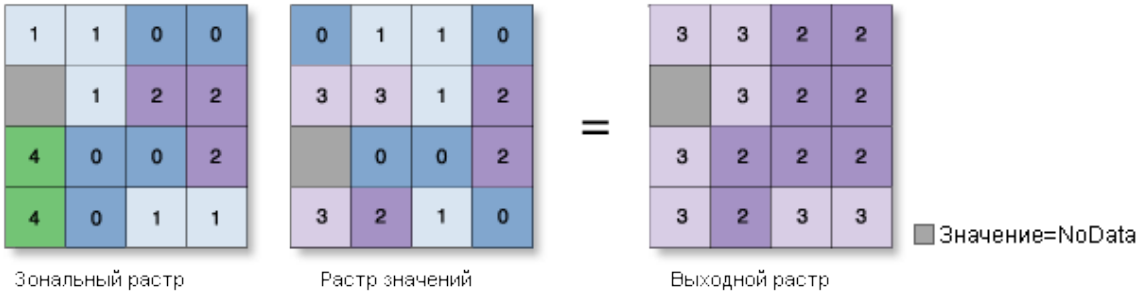

Рисунок 13 – Вычисление максимума значений

OutRas = ZonalStatistics(ZoneRas, "VALUE", ValRas, "Maximum")

Среднее

Среднее значение каждой зоны присваивается всем выходным ячейкам этой зоны.

Пример:

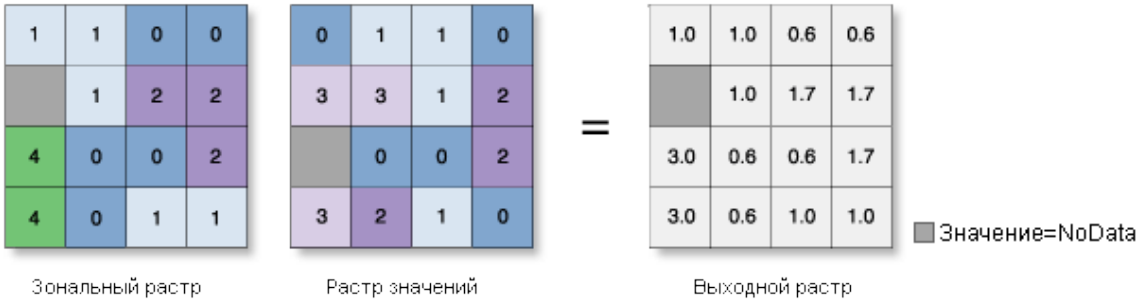

Рисунок 14 – Вычисление средних значений

OutRas = ZonalStatistics(ZoneRas, "VALUE", ValRas, "Mean")

Минимум

Минимальное значение каждой зоны присваивается всем ячейкам этой зоны.

Пример:

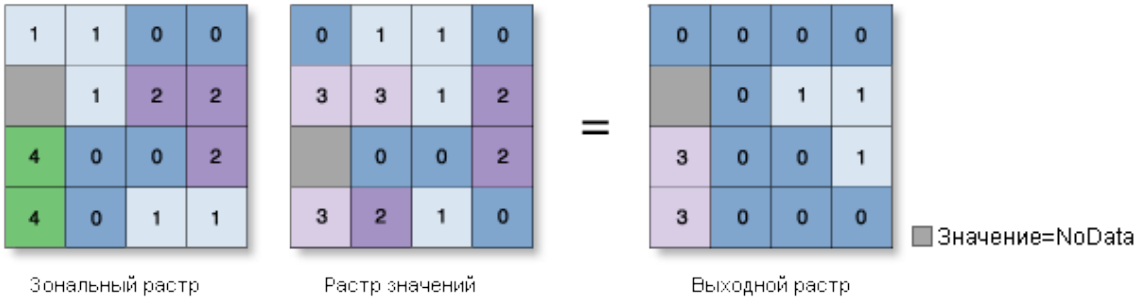

Рисунок 15 – Вычисление минимальных значений

OutRas = ZonalStatistics(ZoneRas, "VALUE", ValRas, "Minimum")

Выше приведённые примеры рассмотрены для случая, если выходные статистические характеристики записываются в растровый файл. В нашей

работе были использованы функции получения статистических характеристик зрн (бассефнов рек) в таблицу. В результате получены были таблицы по экспозициям, углонам и высотам каждого бассейна рек. Все было сделано на примере реки Есауловка. Фрагменты таблиц приведены ниже.

Таблица2 - Значения высот

ObjectID	Name	Zone_code	Count	Area	Min	Max	Range	Mean	Std	Sum
2	Esaulovka	2	231705	3384416075,61	156	628	472	383,8	50,36	889351218

Таблица 3 - Значения экспозиций

ObjectID	ID	Count	Area	Min	Max	Range	Mean	Std	Sum
2	7	231705	3384416075,61	-1	359,54	360,54	174,93	105,37	405333900,47

Таблица 4 - Значения уклонов

ObjectID	Name	Zone_code	Count	Area	Min	Max	Range	Mean	Std	Sum
2	Esaulovka	2	231705	3384416075,61	0	37,24	73,24	3,84	2,7	8913299,57

4. Анализ трендов температур по бассейнам

На режим реки влияет на только рельеф, но также и метеорологические условия. Для анализа влияния факторов метеоусловий на динамику уровня воды в реках Сибирского региона используется информация о среднемесячных значениях температуры воздуха за период с 1914 по 2006 года. По графикам температур за каждый месяц с 1914 по 2006 г. строится тренд, по которому определяется, растет ли среднемесячная температура ил,и наоборот, уменьшается.

Тренд – это выраженная направленность тенденции изменений показателей временного ряда [8]. Уравнение линейного тренда осадков имеет вид

$$y(x)=ax+b\ ,$$

где y – последовательность значений, которые мы анализируем;

x – это независимая переменная;

a - это значение, на которое увеличивается следующее значение временного ряда;

b – точка пересечения с осью y на графике (минимальный уровень) [8].

Положительная величина *a* отражает увеличение температуры в рассматриваемом периоде, отрицательная – ее уменьшение. Обычно предполагается, что тренд линеен и его график – прямая линия [8].

В ArcGIS строится отдельная таблица, в которой будут содержаться данные температур и коэффициентов трендов по каждому посту исследуемых рек.

Таблица

Meteo

O	IdMet	NameMet	t_jan	t_feb	t_mar	t_apr	t_may	t_jun	t_jul	t_aug	t_sep	t_oct	t_nov	t_dec	A_jan	A_feb	A_mar	A_ap
1	1	Achinsk	-16	-15	-8	1	9	16	19	15	9	1	-9	-15	0,0156	0,1022	0,603	0,00
2	2	Bolotnoe	-17	-16	-8	1	10	16	19	16	9	2	-9	-15	0,063	0,0983	0,0516	0,00
3	3	Kansk	-18	-15	-8	2	11	16	19	15	9	1	-8	-15	0,0537	0,0828	0,06	0,00
4	4	Kemchug	-19	-17	-10	1	10	16	18	15	8	1	-9	-16	0,0578	0,0796	0,099	0,00
5	5	Krasnoyarsk	-16	-14	-7	2	9	16	18	15	9	1	-8	-13	0,0115	0,0202	0,0002	-0,01
6	6	Mariinsk	-18	-16	-9	0	9	15	18	15	8	1	-10	-15	0,0388	0,0802	0,0521	0,00
7	7	Nizheudinsk	-21	-18	-8	1	10	15	17	15	8	0	-10	-18	0,1164	0,1838	0,1285	0,04
8	8	Solyanka	-17	-15	-7	1	9	16	18	15	8	1	-9	-15	0,0391	0,0703	0,048	0,01
9	9	Tulun	-20	-17	-9	1	9	15	7	15	8	0	-11	-18	0,0475	0,096	0,0503	0,00

Рисунок 16 – Фрагмент таблицы метеопостов

На рисунке 17 представлен фрагмент таблица данных температур метеопоста города Красноярска для реки Есауловка.

Населенный пункт: г. Красноярск. Координаты: 56°02 с.ш; 92°45 в.д. Высота над уровнем моря: 277 м.

код метеопост	год наблюдени	Среднемесячная температура, °С											
		январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь
29570	1914	9,2	15,3	16,9	14,9	10,3	-2,3	-9,6	-13,4				
29570	1915	-26,5	-16,5	-8,4	1	12,2	18	20,3	14,2	7,9	-3,9	-8,6	-13,7
29570	1916	-16,8	-14	-10,7	-0,8	7,9	14,9	17,8	14,8	10,4	2,4	-7,3	-26,8
29570	1917	-17,3	-13,4	-6,4	1,8	12,2	16,2	17,9	12,4	9,9	0,1	-5,9	-20,1
29570	1918	-10,9	-11,6	-5,5	0,4	9	15,4	18,3	16,3	9,8	0,5	-7,1	-23,4
29570	1919	-25,1	-11,1	8,1	14,1	19	14,6	9,3	2,4	-9,3	-15,2		
29570	1920	-17	-16,7	-4,3	3,5	8,1	15,8	19,7	15,6	6,7	1,2	-9,7	-20,3
29570	1921	-12,2	-12,9	-5,8	1,1	6,1	15	22,9	15,2	9,5	1,3	-8	-14,6
29570	1922	-23,1	-19	-5,1	2,1	8,3	16	21,3	16	7	1	-12,3	-13,3
29570	1923	-16,8	-21	-6,9	1,2	6,8	15,7	19,2	17,3	9,9	1,2	-12,6	-13
29570	1924	-15,8	-21,6	-9	1	10,9	12,7	20,7	14,3	9,3	-0,2	-3,8	-10,5
29570	1925	-10,8	-16,3	-11,3	-0,9	6,9	13,9	15,7	15,4	9,7	4,6	-3,8	-14
29570	1926	-12,6	-14,3	-2,4	3,3	5,2	16	18,4	15,3	9,3	2,4	-7,3	-21,2
29570	1927	-18,2	-13,6	-13,1	0,4	12,5	15,7	16,4	14,2	10,8	1,5	-8,4	-16,4
29570	1928	-14,9	-15,5	-10,5	1,5	8,5	16,7	18,4	15,4	9,1	3,9	-11,4	-18,5
29570	1929	-19,2	-24,5	-5,1	3,7	6,4	15,9	16,6	14,2	9,4	1,9	-6,7	-23,7
29570	1930	-16,2	-14,7	-6,3	-3,6	7,9	15,6	17,9	15	8	3	-7,1	-16,3
29570	1931	-20,1	-21,7	-7,8	0,3	6,1	17,2	15,8	16,9	9,6	4,7	-8,9	-15,1
29570	1932	-10,8	-13	-8,2	3,2	7	14,8	21,5	14,2	11,2	6,2	-6,5	-9,3
29570	1933	-24,9	-22,5	-9,9	2,1	7,6	14	18	16,9	7,4	0,3	-6,2	-12,7
29570	1934	-13,2	-10,6	-10,2	-0,4	9,2	16	16,1	14,9	6,1	2,2	-8,6	-12,3
29570	1935	-16,7	-11	-5,9	-1,7	8,3	17,4	19,1	15,3	10,2	0,2	-12	-23,6
29570	1936	-19,1	-16,3	-8,9	-1,5	7,6	12,4	18	14	9,4	4,6	-9,4	-11,3
29570	1937	-19,3	-15	-13,3	-2,3	10,8	15,7	18	13,1	7,9	2,8	-10,8	-21,9
29570	1938	-21,3	-11,3	-5,6	5,4	9,4	14,8	17,8	14,1	7,5	1,3	-5,1	-23,9
29570	1939	-16,4	-10,9	-8,3	5,4	8,5	18	17,1	16	10,4	-0,2	-10,5	-7,6
29570	1940	-28,7	-13,1	-4,6	3,8	9,4	16,8	17,3	16,1	8	-0,2	-6,7	-14,5
29570	1941	-15,1	-18,5	-6,8	-0,8	8,7	17	16,8	15	9,4	2	-9,8	-16,6

Рисунок 17 – Данные температур метеопоста города Красноярска

Например, на рисунке 18 приведён график температуры и тренд, полученный для февраля месяца.

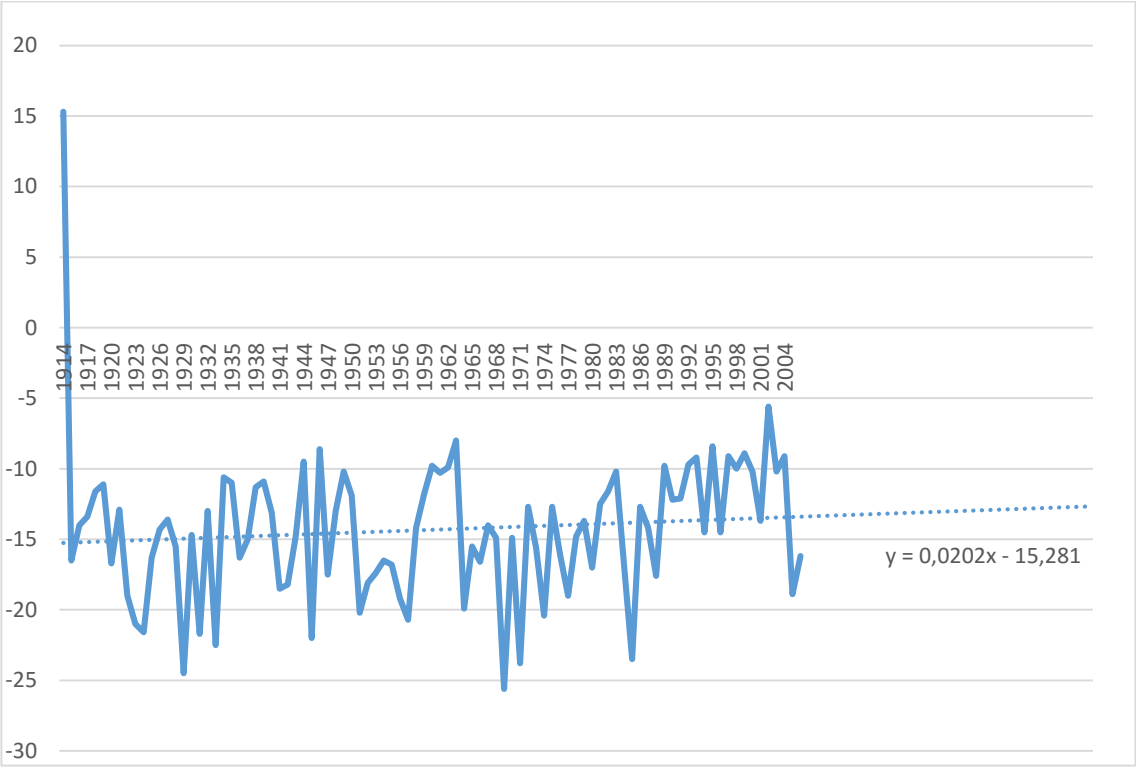

Рисунок 18 – График среднегодовых температур за февраль месяц

Коэффициент у тренда положительный и составляет 0,0202, следовательно, температура февраля с 1914 по 2006 год растет, что может говорить о том, что период снеготаяния в данном бассейне постепенно начинается раньше. В целом тренды у всех постов положительные, что говорит о том, что среднегодовая температура растет.

Далее необходимо соединить таблицы с данными метеопостов и таблицы с данными о реках. Заранее создается ключевой столбец, по которому будет происходить соединение. Назовем этот столбец “IdMet” в каждой из таблиц. Для того чтобы начать соединение необходимо в таблице шейп-файла «rivers» зайти в “опции таблицы-Соединения и связи-Соединение”. Далее выбираем ключевой столбец и выбираем какую таблицу мы хотим присоединить. Нажимаем ОК. Получаем итоговую таблицу (рисунок 19).

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X
Id	Name	Lenght	Area	Aspect_mir	Aspect_ma	Aspect_mea	slope_min	slope_max	slope	height_mir	height_ma	heigh	heigh	IdMet	OBJECTID	IdMet	t_jan	t_feb	t_mar	t_apr	t_may	t_jun	t_jul
1	Antibes	82	1050	-1	360	158	0	73	10	0	255	124	255	6	6	6	-18	-16	-9	0	9	15	18
2	Lebyazhya	106	1510	-1	360	175	0	40	3	53	250	164	197	2	2	2	-17	-16	-8	1	10	16	19
3	Kan	629	36900	-1	360	175	0	57	5	85	2146	386	2061	3	3	3	-18	-15	-8	2	11	16	19
4	Poyma	382	8640	-1	360	173	0	42	3	138	414	277	276	3	3	3	-18	-15	-8	2	11	16	19
5	Kemchug	441	10300	-1	360	177	0	63	4	76	727	264	651	4	4	4	-19	-17	-10	1	10	16	18
6	Esaulovka	137	1500	-1	360	175	0	37	6	156	628	383	472	5	5	5	-16	-14	-7	2	9	16	18
7	Uda	1203	56800	-1	360	175	0	51	4	208	1327	447	1119	7	7	7	-21	-18	-8	1	10	15	17
8	Urya	137	1387	-1	360	176	0	26	3	264	423	337	159	8	8	8	-17	-15	-7	1	9	16	18
9	Kurzanka	117	1540	-1	360	171	0	28	3	430	646	532	216	9	9	9	-20	-17	-9	1	9	15	7
10	Kimiltey	141	3220	-1	360	167	0	42	3	413	493	493	198	9	9	9	-20	-17	-9	1	9	15	7
11	Uluy	150	1764	-1	360	177	0	39	4	107	386	261	279	1	1	1	-16	-15	-8	1	9	16	19

Рисунок 19 – Фрагмент итоговой таблицы

Это было сделано для того, чтобы проводить анализ температурного режима в бассейнах выбранных рек. Для демонстрации в программе ArcGIS нажимается кнопка «идентифицировать» и выбирается любая из рек, информацию по которой мы хотели бы получить.

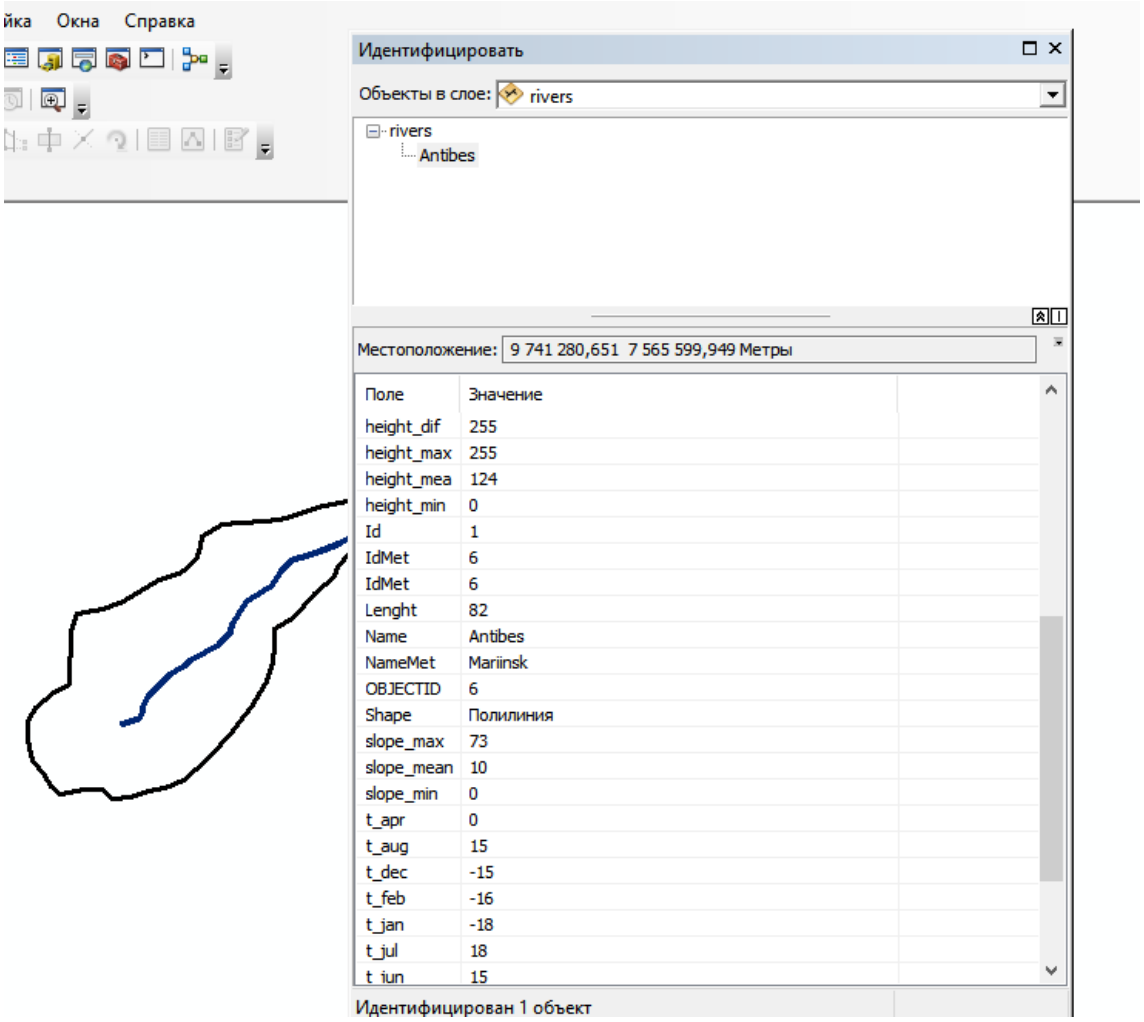

Рисунок 20 – Таблица идентификации реки

Для того чтобы продемонстрировать технологию визуализации, необходимо соединить таблицы слоев «rivers» и «Basseins» по такому же алгоритму, описанному ранее. В зависимости от того, что нужно представить на карте, выбираются необходимые значения в свойствах слоя. Для демонстрации работоспособности технологии берутся тренды изменения температур за сентябрь и за июнь. Серым цветом окрашены те зоны, у которых тренд имеет отрицательные значения, а желтым, следовательно, положительные.

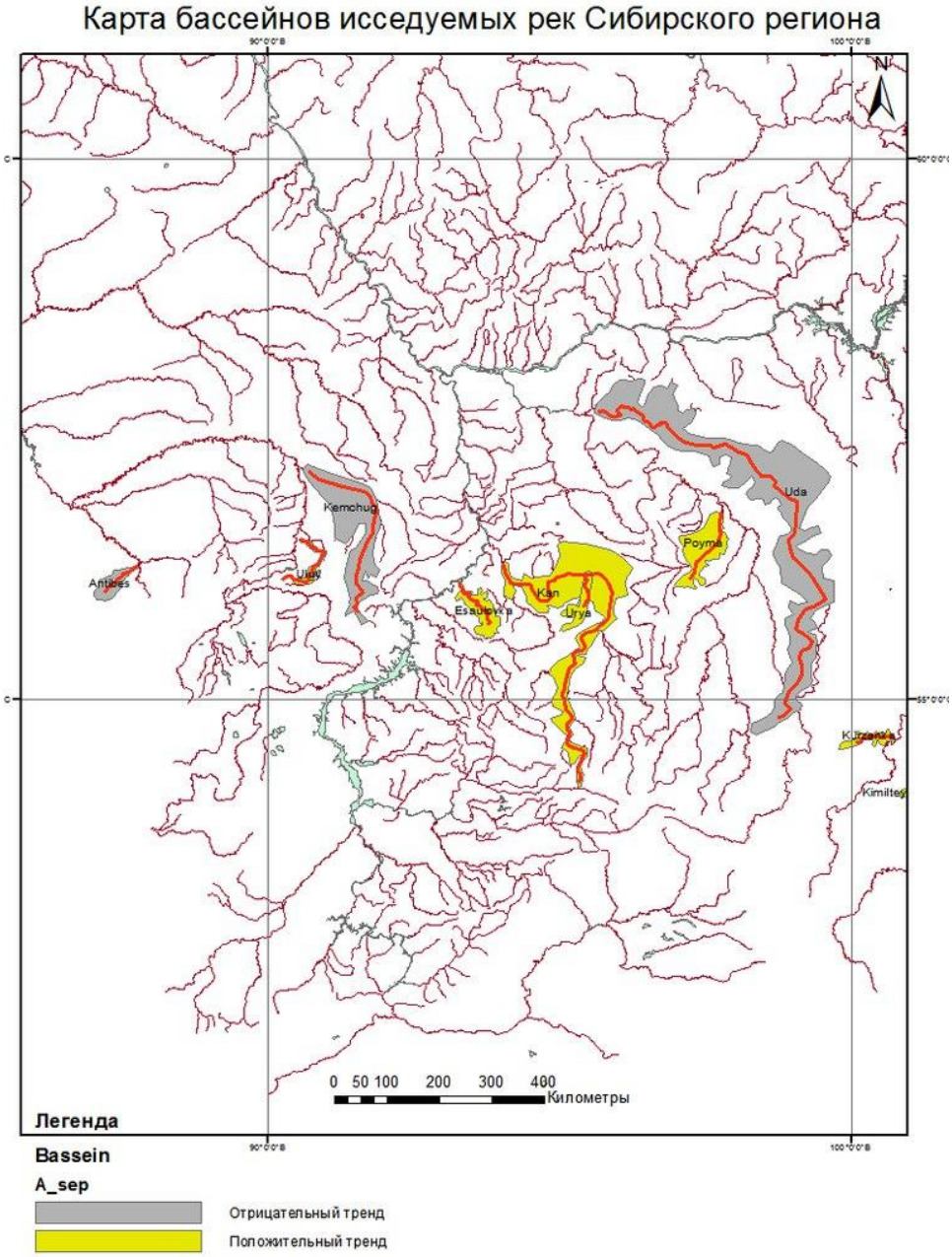

Рисунок 21 – Карта изменения трендов температур по бассейнам за сентябрь

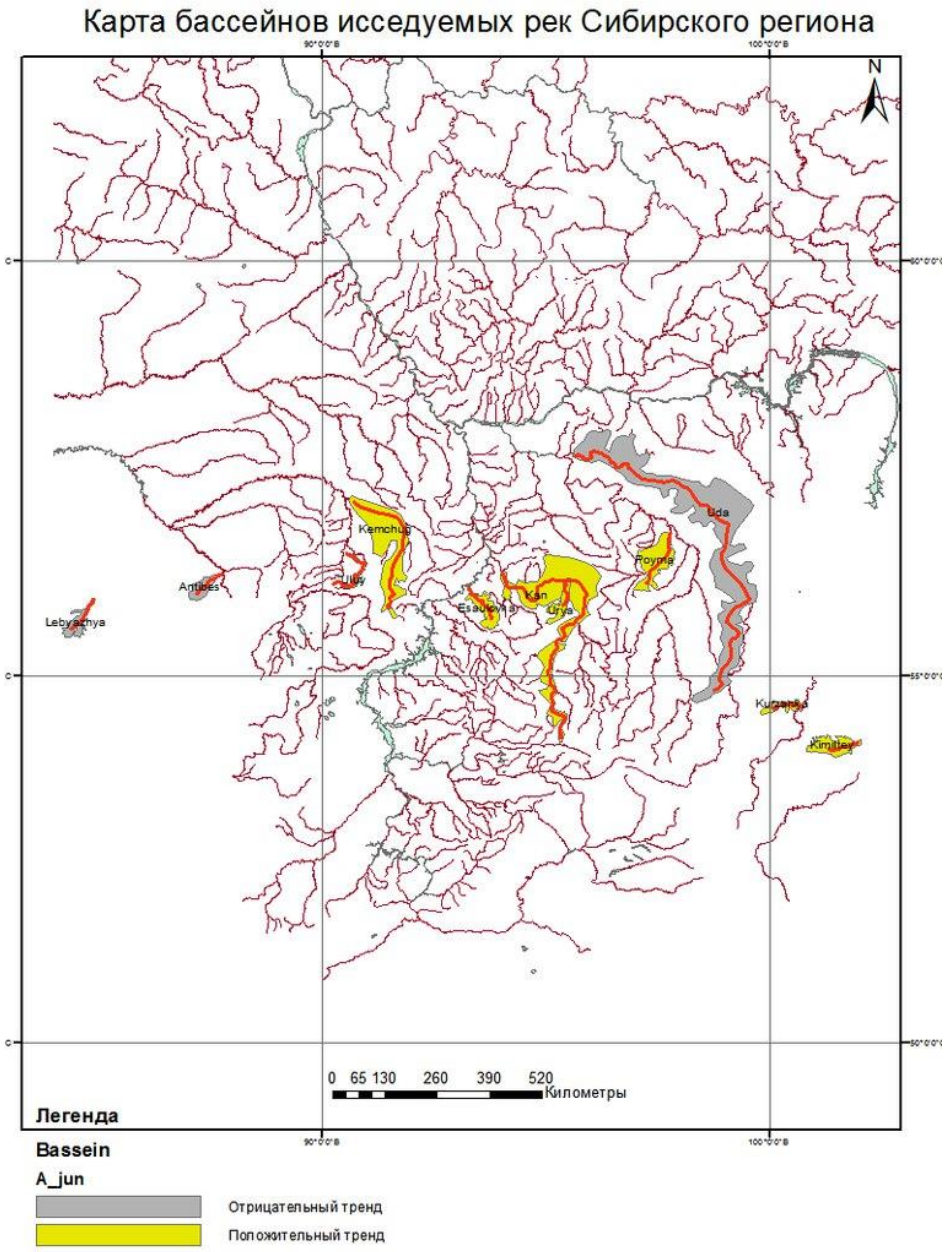

Рисунок 22 – Карта изменения трендов температур по бассейнам за июнь

В июне и в сентябре наблюдаются отрицательные тренды температур в бассейнах рек Антибес, Улуй, Уда. А а бассейнах рек Кан, Уря, Есауловка, Пойма, Курзанка и Кимильтей тренды температур в обоих случаях положительные. А как раз у бассейна реки Кемчуг есть изменения, в июне месяце тренд положительный, а в сентябре значение тренда становится отрицательным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проделанной работы создана ГИС, в которой можно проводить анализ влияния рельефа на гидрологическим режим рек Сибирского региона. Был отработан метод получения цифровых моделей рельефа с помощью программы Global Mapper. Была составлена карта бассейнов некоторых рек Сибирского региона. Были получены такие характеристика бассейнов, как экспозиции, уклон и высота над уровнем моря. Был проанализирован тренд температур за 1914-2006 годы.

В ходе работы проанализированы территориальные особенности между группами рек исследуемых региона. Разработана технология использования ГИС ArcGIS для проведения анализа изменчивости гидрологического режима рек региона. В результате сформированы цифровые карты по одиннадцати рекам Сибирского региона.

Особенностью разработанного инструмента для анализа гидрологического режима рек является его универсальность и простота использования. В дальнейшем предусмотрена возможность расширения границ применения разработанного инструмента. В случае поступления информации о почвенно-растительном составе местности исследуемого региона, возможно проведение углубленного анализа изменчивости гидрологического режима рек, поскольку почвенный покров играет большую роль в формировании водного баланса региона.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1 Геонформатика: В 2-х кн. Кн. 1: Учеб. пособие для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А.В.Кошкарев, В.С.Тикунов и др.; под ред. В.С.Тикунова. – М.: Издательский центр "Академия", 2008.

2 Лысенко, В.В. Гидрологические исследования в Сибири [Текст] / под ред. В. В. Лысенко, В.П.Ергина. - М.: Гидрометеоиздат, 1991. - 115 с.

3 Лысенко, В.В. Гидрологический режим и русловые процессы рек Сибири [Текст] / под ред. В.В.Лысенко, В.М.Топорова. - М.: Гидрометеоиздат, 1985. - 120 с.

4 Программное обеспечение ArcGIS [Электронный ресурс] : – 2006. – Режим доступа: http://www.credospb.com/arcgis.htm

5 Программное обеспечение Global Mapper 15 [Электронный ресурс] : – 2014. – Режим доступа: http://www.bluemarblegeo.com/products/global-mapper.php

6 Программное обеспечение для работы с электронными таблицами MS Excel [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: http://office-guru.ru/excel/microsoft-office-excel-chto-eto-59.html

7 Алгоритмы вычисления экспозиции и уклонов [Электронный ресурс] : – 2010. – Режим доступа: https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox.htm

8 Вычисление тренда температур [Электронный ресурс] : – 2014. – Режим доступа: http://iesen.nspu.ru/sbor13/t3/ch4.html