

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.
ЧЕРНЫШЕВСКОГО»**

Кафедра геоморфологии и геоэкологии

**Применение цифровых моделей рельефа для моделирования простейших
или элементарных гидрологических показателей на бассейн реки
Медведица**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

студентки 4 курса 431 группы

направления 05.03.03 – Картография и геоинформатика

географического факультета

Волковой Алины Владимировны

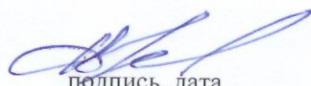
Научный руководитель
старший преподаватель
должность, уч. степень, уч. звание



подпись, дата

Д. П. Хворостухин
инициалы, фамилия

Зав. кафедрой
доцент, к.с.-х.н., доцент
должность, уч. степень, уч. звание



подпись, дата

В. А. Гусев
инициалы, фамилия

Саратов 2020

Введение. В современной географии многие факторы и условия определяют методы и средства географических исследований, которые быстро улучшаются в наше время. В частности, это связано с использованием системного подхода, вычислительной техники и математики, а так же автоматизированных устройств. Существуют различные аспекты применения инструмента автоматизации картографического моделирования, которые формируют картографическое изображение в течении недолгого времени.

Актуальность исследования. Разработка вопросов моделирования определяется необходимостью более эффективного использования больших объемов данных, процесса создания карт и расширения области их практического применения, а так же потребностью использования данных о рельефе в цифровом формате при решении различных задач, обеспечения достоверности создаваемых моделей.

Современные технологии позволяют определять морфометрические и физико-географические характеристики водотоков и водосборов. Спутниковые данные применяются в различных областях прикладной гидрологии: исследование процессов снеготаяния, моделирование зон затопления, управление водными ресурсами и т.д.

В связи с этим, *целью бакалаврской работы* является моделирование водосборного бассейна реки Медведица на основе данных глобальных цифровых моделей рельефа.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить *следующие задачи*:

1. Рассмотрение понятий и классификаций ЦМР ;
2. Выбор модели из доступных глобальных ЦМР;
3. Обработка исходной ЦМР;
4. Проведение гидрологического моделирования бассейна реки Медведица;
5. Расчет возможного объема стока.

Материалы исследования. Основными источниками для написания работы послужили литературные источники, электронные ресурсы, учебно-методические материалы. Также в работе использовалось лицензионное программное обеспечение, предоставленное учебной лабораторией геоинформатики и тематического картографирования.

Бакалаврская работа состоит из 4 разделов, введения, заключения, списка использованных источников. Кроме того, практическая часть проиллюстрирована приложениями.

Основное содержание работы.

1 Понятие цифровой модели рельефа (ЦМР)

Первый раздел включает в себя определение понятия ЦМР, описание источников данных, принцип построения моделей и их классификация.

Под *цифровой моделью рельефа* (ЦМР) понимается *средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей или рельефов) в виде трехмерных данных, образующих множество высотных отметок (отметок глубин) и иных значений аппликат (координаты Z) в узлах регулярной или нерегулярной сети или совокупность записей горизонталей (изогипс, изобат) или иных изолиний* [1].

Затрагивая тему источников данных, можно сказать, что они зависят от способов получения измерительных данных о рельефе. Способы делятся на:

1.Регулярный способ, представляет собой сетки квадратов, равнобедренных треугольников, прямоугольников в вершинах которых определяются опорные точки (интерполяция высот).

2.Структурный, который основан на структурных линиях рельефа, например: на характерных линиях дороги, урезах рек (полиномиальная зависимость).

3.Нерегулярный(хаотичный) способ, который действует при проведении съемок [1].

Сами же источники данных подразделяются на следующие:

- Картографические источники;

- Данные дистанционного зондирования (ДДЗ) и фотограмметрия;
- Материалы полевых съемок [1,2].

Существует множество методов интерполяции. Основными из них являются следующие: Метод нерегулярной триангуляционной сети (TIN), Интерполяция по методу Естественной окрестности, Метод Обратно взвешенных расстояний (IDW), Кригинг (Kriging), Тренд (Trend)

Разберем каждый из них подробнее.

Метод нерегулярной триангуляционной сети (TIN) представляет собой форму векторных цифровых географических данных, построенных путем отображения набора вершин (точек). Распространенный алгоритм TIN называется триангуляцией Делоне [3].

Интерполяция по методу Естественной окрестности (Natural Neighbor)

Данный метод основан на нахождении ближайшего подмножества входных образцов и применении к ним весов, основанных на пропорциональных областях для интерполяции значения.

Она также известна как интерполяция Сибсона или "захватывающей области" [4].

Метод Обратно взвешенных расстояний (IDW)

Метод обратно взвешенных расстояний (IDW) ориентируется на то, что объекты, находящиеся близко друг к другу, более похожи, чем объекты, которые далеки друг от друга. Взвешивание точек происходит следующим образом: влияние известного значения точки угасает с увеличением расстояния до неизвестной точки, значение которой нужно будет определить [5].

Кригинг (Kriging)

Кригинг — это улучшенный геостатистический метод, который может построить предполагаемую поверхность из набора точек с z-значениями. В Кригинге предполагается, что расстояние или направление между контрольными точками отражает пространственную корреляцию, которая может использоваться для учета изменений на поверхности [3,5].

Тренд (Trend)

Метод Тренд использует интерполяцию глобального полинома, который соответствует гладкой поверхности, определённой математической функцией (полином) для входных точек образца. Поверхность тренда изменяется медленно и содержит шаблоны грубых масштабов в данных [5].

По форме представления данных ЦМР делятся на:

- 1) Растровая модель (GRID)
- 2) Модели TIN

Растровая модель пространственных данных — разбиение пространства (изображения) на далее неделимые элементы (пиксели) — применительно к ЦМР обозначает матрицу высот: регулярную (обычно квадратную) сеть высотных отметок в ее узлах, расстояние между которыми (шаг) определяет ее пространственное разрешение.

Модель TIN (*Triangulation Irregular Network* - *триангуляционная нерегулярная сеть*) **географических объектов**— модель поверхности в виде сети смежных не пересекающихся треугольных граней, определенная по узлам и ребрам, которые покрывают поверхность, что позволяет представить моделируемую поверхность как многогранную [1].

2 Сравнительная характеристика глобальных ЦМР

В втором разделе мы сравнили характеристики некоторых коммерческих (проприетарных) и свободно распространяемых моделей рельефа, оценили их точность и охват территории.

Были рассмотрены следующие модели:

- 1) Свободно распространяемые: ASTER GDEM, SRTM, GMTED2010, ETOPO1;
- 2) Проприетарные: ALOS AW3D, WorldDEM, NextMap World (10,30), SPOT DEM.

Среди представленных цмр, хотелось бы выделить ALOS AW3D, так как в настоящий день она считается одной из самых качественных и лучших в мире ЦМР. ALOS AW3D можно найти в двух версиях : коммерческой, которая

обладает более точными данными по всей территории земли с разрешением 5 метров, и бесплатной, охватывающей лишь часть с разрешением в 30 метров. Так же, можно выделить свободно распространенную модель SRTM, которая так же имеет высокую точность. Многие проекты на основе Open Street Map используют данные SRTM для предоставления топографической информации, заливки рельефа и профилей высот для трасс и маршрутов.

3 Анализ производных моделей свободно распространяемых ЦМР

Третий раздел направлен на сравнительный анализ ЦМР по их морфометрическим показателям, а именно: экспозиции склонов, углов наклонов, автоматическое построение изолиний и тальвежной сети с вычислением ее порядков.

На основе полученных данных мы сделали вывод, что для регионального исследования нам больше всего подходит модель ALOS AW3D, так как из-за отсутствия шумовых значений, она не образует «мусор» при построении различных морфометрических характеристик. SRTM является хорошей моделью, но более подробной чем ALOS AW3D. Модель GMTED2010 сильно обобщает данные, а модель ASTER GDEM наоборот очень подробна, что образует «замусоренность» и «рябь», что для нашего исследования не подходит.

4 Расчет элементарных характеристик водосборных бассейнов на основе ЦМР

Данный раздел включает в себя основные понятия и характеристики водосборных бассейнов, технологию и этапы их создания, а так же определение на их основе гидрологических характеристик.

Погодные условия, количество выпавших осадков, особенности геологического строения формируют речные системы. Каждая из этих систем обладает рядом географических характеристик, одними из которых являются размер бассейна и водосборной площади, границы водораздела.

Обычно гидрографические характеристики водосборных бассейнов определяются по уже имеющимся топографическим картам и планам, а если

таковых нет, то по данным полевых исследований местности. Итогом становятся сведения, которые позволяют учесть основные особенности стока: площади водосборных бассейнов, длины водотоков, общий характер рельефа бассейна и т.д. [6].

Для того, чтобы определить площадь водосборного бассейна и других его характеристик, нужно установить границы всех пересекаемых бассейнов.

Компьютерные технологии позволяют нам выделить водосборный бассейн при помощи специальных программ и их инструментов, например: в наборе Spatial Analyst программы ArcGIS можно выделить бассейн с помощью утилиты «Водосборная область».

Для моделирования стока рек нужны данные о физико-географических и гидрографических характеристиках данного нам района. Ранее они определялись посредством ручных измерений на топографических картах, но развитие компьютерных технологий в настоящее время позволяет нам получить нужные характеристики с помощью готовых цифровых моделей рельефа.

Для исследований гидрологических характеристик был выбран бассейн реки Медведица.

Чаще всего не обработанные цифровые модели рельефа являются не пригодными для решения различных задач из-за наличия неточности и артефактов. По этому, первостепенным шагом на этапе создания водосборных бассейнов и изучении гидрографических характеристик рек, будет создание гидрологически корректной ЦМР. Под гидрологической корректностью понимается модель с отсутствием фиктивных точек стока, а так же направления смоделированных водотоков должны совпадать с исходными отрезками речной сети. Такая модель позволит наиболее точно определить границы водосборных бассейнов и смоделировать сеть тальвегов с определением порядков водотоков [7].

Для нашего исследования была выбрана распространенная цифровая модель рельефа SRTM. Ранее мы сравнивали различные модели данных и пришли к выводу, что ALOS AW3D лучше всего подходит для наших

исследований, но, так как данная модель является в основном проприетарной и в свободном доступе есть данные в ограниченном режиме, на выбранную нами территорию была взята модель SRTM, которая позволяет проводить среднемасштабные исследования с достаточно высокой точностью, как и ALOS.

Растровые данные SRTM предварительно обрабатываются при помощи инструментов ArcToolBox программного комплекса ArcGIS. Используя инструмент «Фокальная статистика» удаляются артефакты, а затем обрезается растр инструментом «Обрезка раstra».

Далее, для создания уточненной модели, исходные данные обрабатываются с помощью инструмента «Топо в растр» модуля Spatial Analyst. Подгружаем линейную и площадную гидрографию, а так же точки с данными о высоте, которые мы получили при помощи инструмента «Растр в точки», и в конце подбираем близкий к исходному значению размер ячейки. Результатом станет уточненный растр цифровой модели, на основе которого в дальнейшем будут проходить наши исследования.

Стоит заметить, что при работе с SRTM важным моментом являются не только множественные артефакты, но и ошибки в значениях высот. Для того, чтобы устранить их и приблизить модель к действительной поверхности рельефа, нужно заполнить все локальные понижения (некорректные области внутреннего стока) и устранить небольшие ошибки и неточности в значениях ячеек раstra. Для устранения этих неточностей мы будем использовать инструмент «Заполнение» модуля Spatial Analyst.

Следующим этапом нашей работы было автоматическое построение тальвежной сети с вычислением ее порядков. Были использованы следующие инструменты модуля Spatial Analyst: «Направление стока», «Суммарный сток», «Алгебра карт-Калькулятор раstra», «Порядок водотоков», «Водоток в пространственный объект».

На основе построенной тальвежной сети мы можем определить максимально возможные по площади границы водосборного бассейна. Для их построения применяется инструмент «Бассейн» модуля Spatial Analyst.

Одной из основных гидрологических характеристик является объем стока. На основе его мы можем получить данные о количестве воды протекающей через рассматриваемый створ водотока за какой-либо период времени. Для этого нам нужны данные о площади водосборных бассейнов, карта землепользования и вспомогательные данные о количестве выпавших осадков, а так же коэффициенты стока в зависимости от различных типов почвы.

В гидрологическом анализе ЦМР водосборные области строятся для одной точки – точки устья реки. Чтобы их определить, мы можем воспользоваться инструментом «Вершины объекта в точки» из группы «Пространственные объекты». В результате мы получим данные с конечными точками водотоков.

Затем при помощи инструмента «Водосборная область» модуля Spatial Analyst моделируются микробассейны, соответствующие построенным ранее порядкам тальвежной сети.

Далее была создана карта подстилающей поверхности на весь бассейн реки Медведица на основе данных Open Street Map. Были выделены следующие виды землепользования по категориям земель:

- 1) Земли сельскохозяйственного назначения: пашни, животноводство;
- 2) Земли поселений: жилая застройка;
- 3) Земли промышленности, транспорта, специального и иного назначения: промышленная застройка, кладбища;
- 4) Земли лесного фонда: древесная и кустарниковая растительность.

На основе различных карт среднегодового количества осадков, мы получили данные об уровне осадков на территории бассейна. Так же благодаря открытым источникам нами были заимствованы коэффициенты стока для элементов землепользования и залежей. Коэффициент стока – субъективная

величина и чаще всего не может быть смоделирована. Существуют специальные строительные нормы и правила (СНиПы) для осуществления градостроительной деятельности, которые содержат значения коэффициентов стока для различных видов поверхности. Несмотря на то, что они разработаны для городов, их так же можно применить для моделирования стока в целом с определенной погрешностью.

Расчет объема стока производился следующим образом: для начала все элементы землепользования разрезались микробассейнами. Далее были рассчитаны значения стока для участков землепользования внутри каждого микробассейна путем умножения площади участка, уровня годового количества осадков и коэффициента стока. Сложив все данные, нами было получено, что на территории всего бассейна объем стока составляет 2,77487 км³. Для того, чтобы определить, насколько достоверным является результат наших вычислений, был построен водосборный бассейн гидропоста на реке Медведица на территории пгт Лысые горы. Объем стока для смоделированной области составил - 0,32195 км³. По данным открытых источников, объем стока Медведицы составляет – 1,110804 км³, что в 3 раза больше полученного нами значения.

Такое расхождение данных объясняется преобладанием снегового питания в общем объеме стока реки. Кроме того до 10 % стока формируется за счет подземных вод. Фактически на долю дождевого питания (поверхностного стока) остается менее 30% общего объема стока. Коэффициенты указанные в СНиПах рассчитаны для осадков в жидком виде. При весеннем снеготаянии данные коэффициенты имеют гораздо большее значение, что и обуславливает разницу между значениями стока по модели и справочными данными.

Значения коэффициентов стока в зимний период требуют дополнительного детального изучения и станут предметом следующих научных работ.

Заключение.

В настоящее время геоинформационные технологии приобретают колоссальное значение при решении различных задач, которые возникают в науках о земле, в частности в гидрологии. Появление цифровых моделей рельефа и возможность на основе их автоматизированного вычисления различных характеристик, позволило дать начало развитию гидрологических исследований.

Одним из сложных многоэтапных процессов является формирование поверхностного стока. Это зависит от ряда процессов и параметров, локализованных в пределах водосбора и в своей сумме определяющих гидрологический режим на всей территории.

В ходе работы нами была собрана вся нужная информация о подстилающей поверхности, атмосферных осадках, а так же коэффициентах просачиваемости, испарения. При помощи программных средств, был произведен автоматизированный расчет объема всего стока реки Медведица, а так же его отдельной части для дальнейшего сравнения с эталонным значением. Расхождения в модельных и справочных данных и отсутствие достоверных методик оценки коэффициентов стока свидетельствует о важности активного изучения цифрового моделирования рельефа для гидрологических исследований.

Развитие технологий ЦМР, несомненно, будет продолжаться. Это связано с возрастанием потребности в изучении данных о рельефе в цифровом формате. Кроме того, использование моделей в высоком качестве предшествует разработке и широкому распространению новых программных продуктов, технологий и методов моделирования объектов в трехмерном виде.

Список использованных источников.

1 Тикунов, В.С. Геоинформатика: учеб. для студ. вузов / Е.Г.Капралов, А.В. Кошкарев, В.С. Тикунов и др.; под ред. В.С. Тикунова. - Москва: Издательский центр «Академия», 2005. - 480 с.

2 Хромых, В.В., Хромых, О.В. Цифровые модели рельефа: учебное

пособие / В.В. Хромых, О.В. Хромых. - Томск: ТМЛ-Пресс, 2007. - 178 с.

3 ArcGIS for Desktop [Электронный ресурс]: ArcGIS for Desktop. URL: <http://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/main/what-is-geodata.htm> (дата обращения 20.11.2019). - Загл. с экрана. - Яз. Рус.

4 Watson, D. Contouring: A Guide to the Analysis and Display of Spatial Data / D. Watson. London: Pergamon Press, 1992. С. 21-36

5 Архив документации ArcGIS [Электронный ресурс]: ArcGIS Resources. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/na/00qn0000001p000000/> (дата обращения 20.11.2019). - Загл. с экрана. - Яз. Рус.

6 Горбачёв В.П., Кормилицына Л.В. Определение характеристик водосборного бассейна и расчетного расхода стока / В.П. Горбачёв, Л.В. Кормилицына. Хабаровск: Хабар. гос. техн. ун-т, 2003. 37 с.

7 Федоров А.В., Шлапак П.А., Муженский Д.А. Исследование линейной эрозии путем создания уточненной цифровой модели рельефа на основе SRTM (на примере территории Хвалынского района Саратовской области) / А.В. Федоров, П.А. Шлапак, Д.А. Муженский. Саратов: Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. 2020. Т. 20, вып. 1. С. 37-39.

