

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА МОДЕЛЕЙ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ, СОЗДАВАЕМЫХ ПО ЦИФРОВЫМ ТОПОГРАФИЧЕСКИМ КАРТАМ

А.И. Ястребов (ЗАО «Транзас», Санкт-Петербург)

В 1979 г. окончил факультет приборостроения МВТУ им. Н.Э. Баумана по специальности «системы автоматического управления». После окончания института работал в ЦНИИ автоматике и гидравлики, с 1994 г. — в Госгисцентре. С 2000 г. по настоящее время — начальник группы ЗАО «Транзас». Сфера деятельности — цифровая картография.

А.Г. Демиденко (Топографическая служба ВС РФ)

В 1989 г. окончил факультет АСУ и систем связи Харьковского ВВКИУРВ им. Н.И. Крылова. Сфера деятельности — математическое моделирование местности.

▼ О качестве моделей рельефа

Бурное развитие геоинформатики порождает немало приложений, в которых используется цифровая модель рельефа (ЦМР) земной поверхности. Подавляющее число таких приложений, например, прогноз наводнений [1], обеспечение безопасности полетов, объемное представление карты на экране компьютера [2, 3] и др., требуют по возможности наиболее точных моделей. В большинстве случаев требования по точности ЦМР можно удовлетворить, создавая модели на основе цифровых топографических карт соответствующего масштаба, содержащих информацию о рельефе в виде изолиний, отметок высот, отметок урезов воды и т. п. Процесс создания модели рельефа (в триангуляционном или матричном виде) по цифровым данным такого типа в настоящее время хорошо изучен, реализован во многих ГИС [4, 5] и не является предметом данной статьи. Однако очевидно, что точность получаемой модели определяется качеством, точностью и особенностями представления исходных цифровых данных.

К сожалению, практика показывает, что получаемые по цифровым картам модели рельефа за-

частую являются некорректными, т. е. они неправильно воспроизводят рельеф местности в некоторых зонах. К таким зонам можно отнести русла рек с крутыми и обрывистыми берегами (рис. 1).

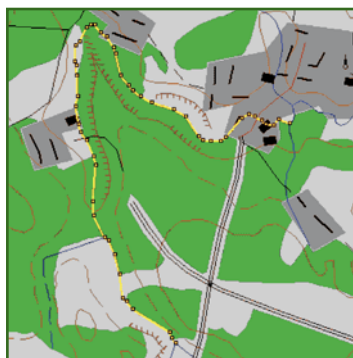


Рис. 1
Фрагмент карты с руслом реки

Желтым цветом на рис. 1 выделен участок реки, вдоль которого по модели рельефа был построен профиль местности. Рассчитанный профиль представлен на рис. 2. Видно, что профиль существенно отличается от монотонно-убывающей функции, описывающей течение реки. Это объясняется тем, что горизонталы, расположенные вдоль русла реки, состоят из отдельных отрезков, прерываемых обрывом. Следова-

тельно, модель рельефа формируется то из одних, то из других «кусков» изолиний, в том числе и тех, которые имеют величину приписанных высот, значительно отличающихся от истинной высоты русла. В результате профиль рельефа имеет не монотонную, а зубчатую форму.

Приведенный пример не является единичным случаем. Обследование около 100 листов цифровых карт масштабом 1:200 000, 1:1 000 000 равнинных и горных местностей показало, что на более чем 90% листов встречаются одна или несколько немонотонно текущих рек. Это говорит о том, что данная ситуация скорее типичная, чем исключительная. Такие факты позволяют сделать вывод о том, что корректное построение модели рельефа по цифровым топографическим картам невозможно без проведения предварительной обработки, исключающей негативное влияние особенностей представления данных

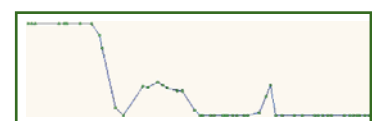


Рис. 2
Профиль рельефа
вдоль участка реки

на картах.

Этот вывод является достаточно важным по нескольким обстоятельствам. Во-первых, по мнению авторов, настоящая работа является первой, в которой данный вывод подкреплен статистическим экспериментальным исследованием. Во-вторых, одним из его следствий может (и должна) стать разработка предложений по изменению технологии производства российских цифровых топографических карт в части цифрового описания рельефа [6, 7]. В-третьих, как уже отмечено выше, для построения качественных моделей рельефа требуется проведение специальной предварительной обработки.

▼ Конкретизация задачи

Каким образом можно построить корректную и качественную модель рельефа, используя для этого существующие в настоящее время цифровые топографические карты? На наш взгляд, этому должно способствовать максимальное использование присутствующей на карте неявной информации о рельефе. Такую информацию несут элементы карты, описывающие гидрографию:

- моря, озера, водохранилища, пруды, которые имеют береговую линию одинаковой высоты;
- линейные реки с переменной по высоте береговой линией, монотонно убывающей или возрастающей в зависимости от направления оцифровки;
- площадные реки с переменной по высоте береговой линией, монотонной на участках между притоками и устьями.

Таким образом, если говорить о гидрографии, необходимо разработать алгоритм, позволяющий на этапе, предшествующем созданию модели рельефа, на основе принципа монотонности рассчитывать высотную составляющую рельефа вдоль русла или береговой линии объекта. Иными словами, необходимо заменить двумерное геометрическое описание объектов гидрографии (координаты X, Y) на трехмерное (X, Y, H) , где H — абсолютная высота.

Прежде чем приступить к об-

суждению путей реализации алгоритма, необходимо проанализировать особенности представления на цифровых картах «слоя» гидрографии. Такой анализ был проведен по выборке карт, описанной выше, и использованной ранее для анализа «слоя» рельефа. Он показал, что:

а) океаны, моря, заливы, озера, водохранилища зачастую не содержат в атрибутивных данных высоту уровня воды;

б) реки:

— одна и та же река может быть оцифрована несколькими или даже несколькими десятками фрагментов, причем каждый фрагмент может являться объектом своего типа (отличного от другого), например, река пересыхающая (исток), река в одну линию (ширина на местности до 20 м), река в две линии, площадная река, снова река в две линии и т. д.;

— направление оцифровки декларируется (от истока к устью), но не всегда выполняется (около 10% рек оцифрованы от устья к истоку);

— атрибут реки «собственное название» зачастую отсутствует или присутствует, но не во всех фрагментах одной реки;

в) отметки урезов воды представлены крайне редко;

г) направление течения каналов может не согласовываться с информацией о рельефе;

д) указатели направления течения:

— нет явных ссылок на то, к какому объекту данный указатель относится;

— очень редко проставлены.

Перечисленные выше особенности существенным образом влияют на процесс создания алгоритма предварительной обработки.

▼ Общие требования к алгоритму

Рассмотрим основные требования, предъявляемые к алгоритму обработки.

Какую совокупность данных следует обрабатывать совместно? Ответ на этот вопрос очевиден. Бассейн одной реки от ее истока до устья, состоящий в общем слу-

чае из множества последовательно сменяющих друг друга линейных и площадных фрагментов вместе со всеми притоками, является такой совокупностью данных. Объясняется этот факт достаточно просто. Только имея сформированный бассейн реки, можно получить дополнительную неявную информацию о высоте рельефа местности в точках примыкания объектов друг к другу. Действительно, высота устья притока должна совпадать с высотой основного русла в точке впадения и наоборот. Аналогично должны совпадать высоты примыкающих друг к другу отдельных фрагментов русла каждой реки. Таким образом, алгоритм должен иметь механизм формирования бассейна реки (взаимосвязанного множества примыкающих друг к другу отдельных фрагментов и притоков рек) даже при отсутствии явных ссылок, указывающих на примыкание одного объекта к другому.

Расчет высот возможен только на основе явно заданной информации. Такую информацию можно получить из отметок урезов воды и из точек пересечения рек и изолиний. Очевидно, что число получаемых таким образом точек с явно заданными высотами значительно меньше общего количества координатных точек, описывающих бассейн реки. Однако принцип монотонности позволяет проводить интерполяцию (линейную, квадратичную или другую) и тем самым рассчитывать высоту промежуточных значений. Таким образом, алгоритм должен уметь рассчитывать точки примыкания к рекам отметок урезов воды и точки пересечения рек и горизонталей, а также уметь переносить высоты этих точек в трехмерное координатное описание рек и проводить интерполяцию незадаанных значений.

Если взглянуть на любую карту, то можно обнаружить несколько или даже множество рукавов, текущих параллельно основному руслу какой-либо реки. В нижнем течении устье реки также зачастую состоит из нескольких рукавов, а истоков (с учетом

притоков) в бассейне по определению множество. Это говорит о том, что с математической точки зрения бассейн реки представляет собой граф, описываемый сетью. Причем этот граф нельзя назвать направленным, так как (это было отмечено выше) направленные оцифровки рек от истока к устью зачастую не выдерживаются. Каким образом проводить интерполяцию внутри такого графа? Очевидно, что надо уметь выделять и соединять участки сети, соответствующие основному и параллельным руслу и притокам. Как было отмечено выше, сформировать основное русло (или русло притока) по принципу присутствия во всех его фрагментах одинакового имени реки не удастся практически никогда. В этом случае остается один путь — полный анализ графа и разработка таких критериев, которые позволят выделить из сети главное русло (от истока до устья) и русла всех притоков. Это наиболее сложная и тонкая задача алгоритма. После сборки (выделения) русел, задача проведения интерполяции решается тривиально.

Как было отмечено выше, можно считать, что участки береговой линии площадного объекта (реки) между притоками и устьями этого площадного объекта также подчиняются принципу монотонности. Поэтому при построении графа бассейна следует заменить каждый площадный объект набором линейных береговых линий, примыкающих друг к другу. Следовательно, алгоритм должен уметь разбивать требуемые площадные объекты на совокупность их линейных береговых линий. Полученные береговые линии включаются в состав графа бассейна.

Путем интерполяции можно рассчитать высоты средней части каждого русла — от первого до последнего явно заданного значения. При этом останутся нерассчитанными значения высот отрезков рек от истока до первого явно заданного значения и от последнего явно заданного значения до устья. Поэтому еще одной задачей алгоритма является экс-

траполяция высот концов рек. Эта процедура будет несложной, если каким-либо образом (конечно с учетом принципа монотонности) задать значение высот первой и последней точек реки. Как правило, высоту устья можно определить по высоте моря, озера или водохранилища, в которое впадает река. Высоту же истока можно оценить только по локальной модели рельефа, построенной в районе данного истока. Следовательно, алгоритм должен уметь строить модель рельефа на локальные зоны для оценки высот истоков рек.

▼ Реализация алгоритма и результаты

Работа по разработке алгоритма на основе сформулированных выше общих требований велась на протяжении длительного времени. При этом проверялись различные критерии его работы, оптимизировалась реализация отдельных этапов, конкретизировалась последовательность выполняемых действий. В рамках статьи нет возможности изложить все нюансы и тонкости разработанного алгоритма, поэтому его подробное описание можно найти на http://achawk.narod.ru/article_gidro.html.

Приведем несколько примеров работы алгоритма. На рис. 3 представлен профиль рельефа вдоль русла, отмеченного на рис. 1, полученного после проведения предварительной обработки. Видно монотонное убывание высоты, что свидетельствует об эффективности проведенной обработки.

На рис. 4 представлен вариант пространственной визуализации электронной карты с моделью рельефа местности, полученной традиционным образом. На рис. 5 этот же участок местности визуализирован с учетом модели рельефа, построенной с применением

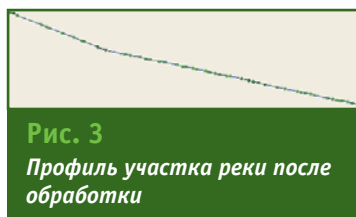


Рис. 3
Профиль участка реки после обработки

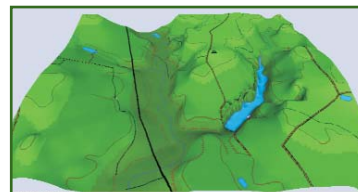


Рис. 4
Модель без согласования с сетью гидрографии

предлагаемого алгоритма. При сравнительном визуальном анализе видно, что русло линейной реки получило более детальное очертание и полностью согласовано по всему течению реки. Зеркало поверхности площадной реки также четко согласовано с руслом — устраняется ошибка тока реки по склону. Таким образом, в результате обработки метрики у всех водотоков вдоль их профиля получаем согласованные, монотонно-убывающие высоты — от истока к устью. Обработанная таким образом сеть объектов гидрографии используется при построении матрицы высот рельефа. Предложенная методика позволяет устранить ошибки заполнения ячеек матрицы, повисить точность модели и получить полностью согласованную с гидрографией матрицу высот рельефа.



Рис. 5
Модель, согласованная с сетью гидрографии по предложенному алгоритму

Еще один пример приведен на рис. 6. Здесь представлена матрица рельефа, полученная по одному из листов карты масштаба 1:200 000 района Северного Кавказа без проведения предварительной обработки. Матрица представлена в оттенках серого цвета: чем светлее оттенки серого, тем большую высоту они отображают. На нее наложена информация о различиях ее элементов с элементами корректной матрицы, построенной после предвари-

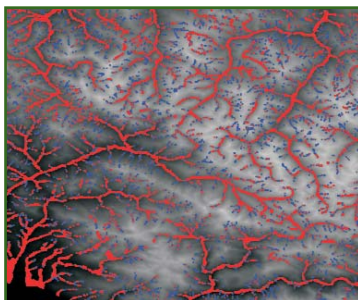


Рис. 6
Пример матрицы рельефа

тельной обработки. Красным цветом отмечены места с положительной разницей между высотами, синим — с отрицательной. Видно, что практически все лощины, по которым, как правило, протекают реки, отмечены красным цветом. Этого и следовало ожидать: согласованная с гидрографией матрица высот в этих зонах почти всегда ниже матрицы, построенной без учета высот гидрографии. Также можно заметить достаточно большое количество синих отметок, характеризующих зоны превышений согласованной матрицы над исходной. Среднее значение отличий двух матриц (по абсолютной величине) составляет 12,5 м, максимальное — 106 м. Приведенный

пример наглядно подтверждает вывод о необходимости применения предложенной обработки для получения качественных матриц рельефа.

В заключении следует отметить, что описанный выше алгоритм обработки гидрографии и рельефа практически одновременно был разработан специалистами КБ «ПАНОРАМА» и ЗАО «Транзас». В настоящее время он используется в ГИС «Панорама» для различных целей пользователей и в специализированном программном обеспечении ЗАО «Транзас» с целью повышения качества ЦМР, которые применяются в авиационных навигационных комплексах.

▼ Список литературы

1. Лобанов В.А. ГИС в гидрогеологии // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2001. — № 1(28), 2(29)-3(30).
2. Берлянт А.М. Геосемиотика и визуализация геоизображений // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 2002. — № 1(33)-2(34). — С. 27–29.
3. Мусин О.Р. Цифровые модели для ГИС // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. — 1998. — № 4(16)-5(17). — С. 28–29.

4. Абламейко С.В. Метод повышения точности моделирования рельефа местности // Геодезия и картография. — 1993. — С. 42–45.

5. Демиденко А.Г. Объемное моделирование местности и пространственный анализ // 3-й Международный семинар пользователей «РАКУРС». Тезисы выступлений. — 2003. — С. 24–26.

6. Астахов А.И. Контроль качества цифровых и электронных карт в Топографической службе ВС РФ.

7. Елюшкин В.Г., Седов В.Н., Долгов В.И. Электронные карты — возможности и перспективы // Независимое военное обозрение. — 2003. — № 28(343).

RESUME

An experience in the digital terrain model (DTM) creation based on digital topographic maps has shown that the relief is reproduced inadequately in certain zones e. g. river beds with steep banks. General requirements for a qualitative DTM modeling algorithm are given. Results of an elevation array retrieval based on the algorithm developed at the «Panorama» Design Bureau and implemented both in the Panorama GIS and the special software developed at «Tranzas» JSC are presented.

“КБ “ПАНОРАМА”

119017 г.Москва, Бол.Толмачевский Пер.д.5,
тел. (095) 739-02-45, факс (095) 739-02-44,
e-mail: kb@gisinfo.ru