

ОПЫТ ПРОГНОЗА ЗОН ЗАТОПЛЕНИЯ ПРИ ПАВОДКАХ И НАВОДНЕНИЯХ

С.В. Серебряков (ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 1984 г. окончил НИИГАиК по специальности «инженер-аэрофотогеодезист». Работал в Союзмаркштресте (Челябинск) инженером аэрофотогеодезистом. С 1993 г. — начальник Челябинского центра цифрования карт предприятия «Уралмаркшейдерия», с 1998 г. — начальник отдела маркетинга предприятия «Уралмаркшейдерия». С 2001 г. работает в «Уралгеоинформ», в настоящее время — главный инженер.

А.Н. Гуцин (ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 1976 г. окончил Уральский государственный университет по специальности «физика». С 1977 г. работал в Институте электрохимии УНЦ АН СССР, с 1984 г. — в ПКБ АСУ. С 2005 г. — руководитель научно-исследовательской лаборатории «Уралгеоинформ».

М.Е. Коршунов (ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 2003 г. окончил теплоэнергетический факультет Уральского государственного технического университета по специальности «прикладная математика». После окончания института работает в «Уралгеоинформ», в настоящее время — инженер-программист.

В.В. Гусев (ФГУП «Уралгеоинформ», Екатеринбург)

В 1980 г. окончил факультет «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых» Свердловского горного института по специальности «горный инженер-геофизик». После окончания института работал в «ГипрогдорНИИ» геофизиком, затем в Среднеуральской геологоразведочной экспедиции, геофизической партии — начальником отряда. С 1994 г. работает в «Уралгеоинформ», в настоящее время — главный инженер проекта.

Ежегодно значительные территории во многих странах, не исключая и Россию, оказываются в зоне паводка, на ликвидацию последствий которого расходуются значительные средства. Прогноз рисков затопления является одной из задач, которую приходится решать подразделениям гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (ГО и ЧС). Это сложная, комплексная задача, для решения которой требуется большое количество информации и работа многих специалистов.

Основная идея, на основе которой, как правило, реализуется моделирование паводкоопасной ситуации, заключается в построении пересечения поверхности рельефа с зеркалом поднимающейся воды. Сложность ее реализации связана с характером исходных данных, на которые прихо-

дится опираться, а также с выбором методики моделирования поверхности рельефа.

В технологии прогнозирования, применяемой в Территориальном центре мониторинга и прогноза ЧС Главном Управлении по делам ГО и ЧС Свердловской области, высотные данные, используемые для моделирования поверхности рельефа, берут с электронной карты масштаба 1:200 000, подготовленной ФГУП «Уралгеоинформ». Поверхность рельефа на картах такого масштаба описывается горизонталями сечением 20–40 м. Метеорологические данные представляют собой набор высотных отметок уровня воды, определенных по данным наблюдений на гидропостах.

При выборе способа моделирования поверхности рельефа были испробованы известные

классические способы, применяемые для представления рельефа на электронных картах: регулярная сеть высотных отметок, нерегулярная сеть высотных отметок (триангуляция), горизонтали (изопараметрические в поле высот линии) с фиксированным шагом. Известные способы не позволили получить нам требуемые в конкретном случае результаты.

Был выбран аппарат В-сплайн поверхностей 3-го порядка, теоретические основы которого подробно изложены в работах [1–4]. В случае использования такого типа модельной функции для представления поверхности рельефа, задача построения модели сводится к определению значений коэффициентов, входящих в уравнение В-сплайн поверхностей 3-го порядка. Эти коэффициенты зада-

ют размер равномерной сетки В-сплайнов, чтобы результирующая поверхность наилучшим образом описывала входные данные. Существующие методы подбора коэффициентов сдающей сетки сплайна могут быть разделены на глобальные и локальные.

Глобальные методы подразумевают решение системы линейных уравнений, порождаемой набором исходных данных.

Очевидно, что такая система совсем не обязательно имеет решение. Поэтому, решение ищется в смысле наименьших квадратов. Однако, как известно, метод наименьших квадратов неустойчив как по отношению к погрешности исходных данных, так и к ошибкам вычислений. Поскольку объемы обрабатываемой информации при моделировании весьма велики, приходится применять методы повышения устойчивости. Обычно для этих целей используется классический метод регуляризации Тихонова [5], состоящий в подмене задачи минимизации квадрата невязки задачей минимизации функционала, что позволяет сузить множество функций, среди которых ищется решение до множества гладких функций, имеющих непрерывную вторую производную. В итоге эта задача приводит к системе mn линейных уравнений с mn неизвестными вида:

$$(B^T B + \alpha E) F = B^T z,$$

где B — разреженная матрица размера Nmn ; E — матрица, порождаемая сглаживающим членом функционала размера $(mn) \times (mn)$; α — параметр регуляризации; $z = (z_1, z_2, \dots, z_N)^T$ — вектор высот точек исходных данных; $\Phi = (\phi_{1,1}, \phi_{2,1}, \dots, \phi_{m,1}, \phi_{1,2}, \dots, \phi_{m,n})^T$ — вектор искоемых коэффициентов задающей сетки сплайнов.

Существуют достаточно быстрые методы решения таких систем, учитывающие специфику матрицы. В данном случае использовался метод квадратного

корня [5], затраты машинного времени которого составляют порядка $O(mn)$. Также следует учесть затраты на построение матрицы уравнения. В целом машинного времени на этапе построения расходуется порядка $O(n+mn)$.

На рис. 1 приведен пример векторной карты, а на рис. 2 — трехмерная модель рельефа, построенная на основе этого участка карты. Исходные данные содержат около 50 000 точек, размер задающей сетки сплайна порядка 100×100 . Ошибка модели по отношению к исходным данным не превышает 0,5 м. Средняя ошибка модели составляет порядка 0,01 м. Размер карты — примерно 15×15 км. Значение параметра регуляризации α выбиралось порядка $1.e-3$.

Построенная таким образом модель позволяет получить высокую точность при моделировании границ территорий, подверженных затоплению.

Разработанная специалистами ФГУП «Уралгеоинформ» технология прогноза зон затопления при паводках и наводнениях входит в состав геоинформационной системы «Информационно-аналитическая система управления рисками чрезвычайных ситуаций», которая в течение ряда лет эксплуатируется в Территориальном центре мониторинга и прогноза ЧС Главном Управлении по делам ГО и ЧС Свердловской области.

Прогноз зон затопления включает следующие этапы:

- подготовка данных для построения цифровой модели рельефа;
- построение цифровой модели рельефа;
- построение трехмерных наклонных плоскостей, приближенно описывающих зеркало поднявшейся воды;
- определение пересечения плоскостей с цифровой моделью рельефа и нахождение зоны затопления, построение зоны

на цифровой карте в виде площадного объекта.

Исходными данными для построения модели рельефа служат объекты цифровой карты, имеющие атрибутивную характеристику «высота абсолютная» — горизонтали рельефа, отметки высот, пункты ГГС, отметки урезов воды, береговые линии озер и др. Плоскость, описывающая зеркало поднявшейся воды, задается по данным наблюдений на гидропостах.

Выполненные по данной технологии прогнозы рисков показали высокую надежность. По данным Главного Управления по делам ГО и ЧС Свердловской области точность прогноза составляет около 90%.

Тем не менее, предлагаемая технология имеет ряд проблем.

Они связаны, во-первых, с корректностью исходных данных — для задания наклонной плос-

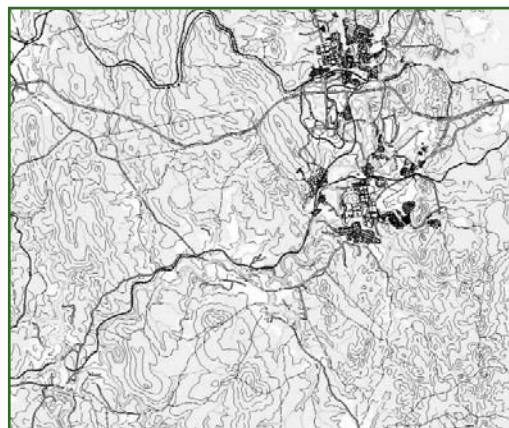


Рис. 1
Пример векторной карты (ГИС «ИнГЕО»)

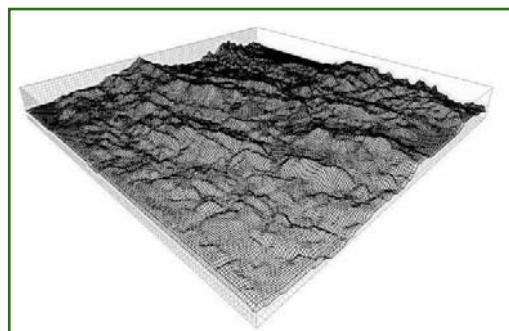


Рис. 2
Трехмерная модель рельефа, построенная в виде В-сплайна 3-го порядка с поиском коэффициентов по глобальной схеме

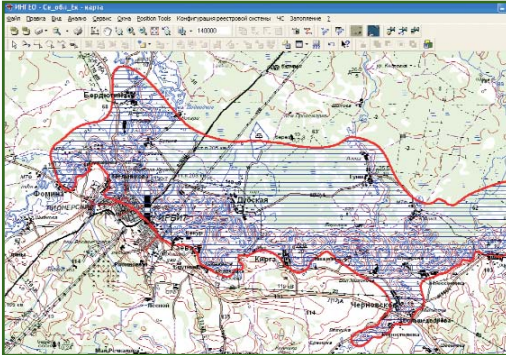


Рис. 3
Прогноз зоны затопления на участке р. Ница с использованием карты масштаба 1:200 000

кости, аппроксимирующей поверхность воды при затоплении, необходимы данные с двух гидропостов, расположенных друг от друга на расстоянии, в пределах которого угол наклона поверхности воды не изменяется.

Во-вторых, имеется сложность реализации математической модели — необходимость параметризации (выбор коэффициента α), большая трудоемкость вычислений и, наконец, невозможность прямого контроля точности модели на этапе ее построения.

Хотя эти недостатки имеют очевидный способ устранения — повышение мощности ком-

пьютеров, в настоящее время ведется работа по улучшению методики, в частности, по использованию многоуровневых B-сплайнов с подбором коэффициентов задающей сетки по локальной схеме, разработанной и детально описанной в работе [3].

Кроме того, следует отметить достаточно высокую экономическую эффективность данной методики. Стандартные методы прогноза затопления, используемые, например в ArcView, требуют высокоточного цифрового рельефа, получение которого весьма трудоемко и требует больших временных и финансовых затрат. В предлагаемой модели используются данные с доступных в настоящее время в России цифровых карт масштаба 1:200 000 (рис. 3).

▼ **Список литературы**

1. Роджерс Д., Адамс Дж. Математические основы компьютерной графики. — М.: «Мир», 2001.
2. Алберг Дж., Нильсон Э., Уолш Дж. Теория сплайнов и ее приложения. — М.: Мир, 1989.
3. S. Lee, G. Wolberg, S. Y. Shin, Scattered Data Interpolation with Multilevel B-Splines, IEEE Transactions on Visualisation and Computer Graphics. — Vol. 3. — NO.

3, July — September, 1997. — P. 228–244.

4. J. R. Sulebak, O. Hjelte Multiresolution Spline Models and Their Applications in Geomorphology, Concepts and Modelling in Geomorphology: International Perspectives, TERRA-PUB, Tokyo, 2003. — P. 221–237.

5. Арсенин В.Я., Тихонов А.Н. Методы решения некорректных задач. — М.: «Наука», 1979.




ФГУП «Уралгеоинформ»

620078, Екатеринбург,
ул. Студенческая, 51
Тел: (343) 374-80-03/04/06/07
Факс: (343) 374-80-02
E-mail: ugi@ugi.ru
Интернет: www.ugi.ru


RESUME

The article gives a theoretical grounding and presents an experience of retrieving a terrain model in the form of a B-spline of the 3rd order in order to forecast flooded areas during high water and flooding. The studies have shown that the model error relative to the initial data does not exceed 0,5 m and the mean error comprises about 0,01 m.



**25 ЛЕТ
ПЕРВОМУ РОССИЙСКОМУ
ТАХЕОМЕТРУ**

**Предложение от
УОМЗ**
Только до конца 2005 г.



Тахеометр электронный 3Та5Р

- ▲ встроенная карта памяти на 1 Мбайт
- ▲ контроль корректности ввода значений температуры воздуха и атмосферного давления
- ▲ средняя квадратическая погрешность измерения одним приемом:

- горизонтального угла	5" (1,5 мгон)
- вертикального угла	7" (2,2 мгон)
- наклонного расстояния	5+3 x 10 ⁻⁶ D
- ▲ увеличение зрительной трубы 30x

тахеометр **3Та5Р**
по специальной цене
99 900* руб.
Подробности на сайте
www.uomz.ru

Купоны на скидку -
в наших филиалах

Единый информационный центр:
(343) 224-88-70

* с НДС при условии 100% предоплаты

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
"ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ
"УРАЛЬСКИЙ ОПТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ЗАВОД"
www.uomz.ru **УОМЗ**