

УДК 004:528

С. В. ПАВЛОВ, О. И. ХРИСТОДУЛО, Р. Р. ШАРАФУТДИНОВ

**РАЗРАБОТКА ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РЕЧНОЙ СЕТИ  
С УЧЕТОМ КАРТОГРАФИЧЕСКОЙ, ГИДРОЛОГИЧЕСКОЙ  
И МОРФОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЙ  
ПРИ ИЗМЕНЕНИИ УРОВНЯ ВОДЫ В ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ**

Описывается проблема разработки геоинформационной модели речной сети с использованием разнородной информации (картографической, гидрологической и морфометрической) для определения границ зон затоплений при изменении уровня воды в водных объектах. *Геоинформационная модель; речная сеть; гидрологические посты наблюдения; линейная интерполяция; определение границ зон затоплений; створы речных объектов; береговые точки и урезы воды; модель гидрологического уклона, цифровая модель рельефа; продольный профиль реки*

Одной из важнейших задач при проведении противопаводковых мероприятий является определение границ зоны затопления при изменении уровня воды в водных объектах. При решении этой задачи на основании традиционного подхода [1], базовыми исходными данными являются значения уровней воды на гидрологических постах наблюдения. В реальной ситуации гидрологические посты в достаточном количестве расположены только на крупных реках, в то время как на их притоках возможны два случая: недостаточное количество гидрологических постов или их отсутствие на притоках. В обоих случаях становится невозможным определение превышения уровня воды и, соответственно, определение границ зоны затопления на заданной территории.

В данной работе предлагается решение этой проблемы при помощи построения геоинформационной модели речной сети. Данная модель позволит повысить точность определения границ зон затоплений посредством использования различных видов информации (картографической, гидрологической и морфометрической) и разработанного алгоритма определения границ зон затопления при изменении уровня воды в водных объектах с учетом притоков.

**ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Целью создания геоинформационной модели речной сети является необходимость определения уровня воды на имеющихся водных объектах, независимо от наличия на них гидрологических постов наблюдения.

Методика определения границ зон затопления использует комбинацию геометрического и гидрологического подходов. Геометрический подход к определению границ зон затопления основан на анализе триангуляционной модели поверхности, которую можно нестрого определить как триангуляцию, всем узлам которой поставлена в соответствие их высота ( $Z$ -координата) [2]. Гидрологический метод учитывает особенности строения почвы, ее инфильтрационных свойств, количества и качества осадков, глубины залегания снежного покрова и других гидрологических характеристик [3].

*Представление задачи в формализованном виде.* Пусть задана совокупность узлов интерполяции или сетка в некоторой плоскости, представленная в виде набора координат  $T_e[(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)]$ , которым соответствует набор значений  $H_e(x, y)$ , описывающий рельеф местности. Плоскость гидрологического уклона реки задана совокупностью узлов интерполяции  $T_w[(x'_1, y'_1), \dots, (x'_n, y'_n)]$ , которым соответствует набор значений  $H_w(x', y')$ , описывающий уровень поднятия реки. Задача состоит в

том, чтобы построить непрерывные функции  $F_e(T_e)$ ,  $F_w(T_w)$  и найти такие значения  $(x, y)$ , для которых справедливо  $F_e < F_w$ , что будет соответствовать области зоны затопления.

Пусть сетка образована пересечением прямых  $x = x_n$ ,  $n = 0, \dots, N$  и  $y = y_m$ ,  $m = 0, \dots, M$ , для которых  $f_{(n,m)} = f(x_n, y_m) = h_{(n,m)}$  — значение функции в узле  $\{x_n, y_m\}$ . Воспользуемся аппаратом кусочно-многочленной интерполяции. Для этого сначала реализуется интерполяция заданной степени по  $x$  на каждой прямой  $y = y_m$ . Затем при каждом значении  $x = x_n$  реализуется кусочно-многочленная интерполяция по  $y$  с учетом значений функции, полученных на первом шаге. Так, в случае кусочно-линейной интерполяции по обоим переменным этот метод приводит (для случая прямоугольника  $x \in [x_n, x_{n+1}]$ ,  $y \in [y_m, y_{m+1}]$ ) к интерполяционному многочлену:

$$F(x, y) = f_{(n,m)} \frac{(x - x_{n+1})(y - y_{m+1})}{(x_n - x_{n+1})(y_m - y_{m+1})} + f_{(n+1,m)} \frac{(x - x_n)(y - y_{m+1})}{(x_{n+1} - x_n)(y_m - y_{m+1})} + f_{(n+1,m+1)} \frac{(x - x_n)(y - y_m)}{(x_{n+1} - x_n)(y_{m+1} - y_m)} + f_{(n,m+1)} \frac{(x - x_{n+1})(y - y_m)}{(x_n - x_{n+1})(y_{m+1} - y_m)}. \quad (1)$$

Очевидно, что для каждой точки, описанной координатами  $(x_i, y_i)$ , из области значений разрядной сетки будет поставлено в соответствие значение  $h_i$ .

В общем случае значения в опорных точках сети подмножества  $H_w$  рассчитываются на основе соотношения:

$$Hw_i = Hb_i + Hwl_i + Hs_i + Hp_i, \quad (2)$$

где  $Hb_i$  — значение нуля гидрологического поста в точке  $i$ ;

$Hwl_i$  — значение уровня поднятия воды в точке  $i$ ;

$Hs_i$  — значение уровня талой воды, полученной при снеготаянии;

$Hp_i$  — значение уровня осадков.

Уровень поднятия воды на каждом гидрологическом посту определяется относительно отметки нуля поста. Эти отметки привязаны к Балтийской системе высот (рис. 1). Пусть в точках  $A$  и  $B$  известно значение нуля гидрологического поста  $Hb_1$  и  $Hb_2$ , соответственно в точках  $C$  и  $D$  известны значения уровня поднятия воды  $Hwl_1$  и  $Hwl_2$ . Виртуальные псевдоотметки уровня поднятия воды

«уточняют» абсолютную высоту зеркала воды между реальными постами контроля за счет линейной интерполяции действительных отметок [4]. Для этого необходимо построить функцию отсчетов  $h = f(x)$ , где  $x$  — смещение отметки вдоль русла,  $h$  — высота воды. Следует отметить то, что данный метод полностью оправдан, поскольку морфология дна русла не предполагает скачкообразных изменений значений уровня воды. Поэтому функция  $h = f(x)$  может монотонно возрастать (убывать) по направлению от одного гидропоста к другому.

Для построения гидрологически корректной поверхности (растра) необходимо, чтобы осевые линии рек имели направление, совпадающее с течением. Далее необходимо получить множество псевдоотметок урезов воды вдоль русла. Это достигается линейной интерполяцией действительных отметок.

В качестве исходных данных для построения функции служат реальные отметки постов контроля за уровнем воды, прогнозируемые в них уровни поднятия воды и урезы воды:

$y_i, i = 0, \dots, n$  — абсолютные значения меженного уровня воды в точке  $x_i$ ;

$x_i, i = 0, \dots, n$  — точки контроля (реальные и моделируемые);

$h_i, i = 0, \dots, n$  — абсолютные значения уровня воды в точках  $x_i$ ;

$n + 1$  — количество постов контроля.

Требуется найти промежуточные значения  $h_i$  между реальными постами контроля с учетом профиля реки в межень.

Для линейной интерполяции псевдоотметок предлагается использовать линейную функцию вида:

$$h_i = h_{i-1} - \left(\frac{a}{b}\right)(y_{i-1} - y_i), \quad (3)$$

$$\frac{a}{b} = \frac{h_0 - y_0}{h_n - y_n}. \quad (4)$$

Использование данной функции будет корректно как для  $Hb_i$ , так и для  $Hwl_i$ .

Допустим, что также имеются сведения о меженном уровне  $Hm$  в точке  $E$ , причем в этой точке неизвестно значение нуля гидрологического поста. Значение нуля гидрологического поста является собой минимальный уровень поднятия воды над поверхностью дна, меженный уровень — некоторое

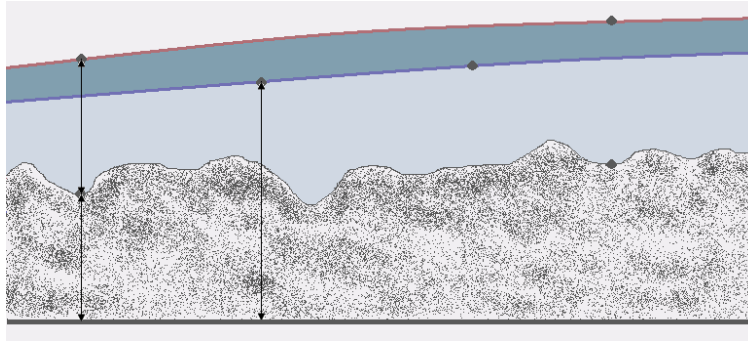


Рис. 1. График  $h = f(x)$  с обозначением главных гидрологических характеристик

превышение над нулем поста, значение которого неизвестно и может варьироваться в различных пределах по разным водным объектам.

Для повышения точности определения границ зон затопления необходимо вычислить высоты «псевдонулей»  $Hm'_i$  для межених уровней воды.

Алгоритм вычисления высоты «псевдонулей» основан на принципе геометрического подобия треугольников. Каждую реку можно представить в виде монотонно-убывающей функции  $h = f(x)$ . Выделяя на графике этой функции подобные треугольники, можно определить значение высоты «псевдонуля».

Ввиду того, что на участке реки урезы рек и нули поста могут быть расположены в различном порядке, в алгоритм вычисления высоты «псевдонулей» включена функция определения взаимного расположения данных объектов. В соответствии с расположением уреза и нулей поста рассматриваются три возможных варианта вычисления высоты «псевдонуля»:

**1-й вариант.** Урез воды расположен между двумя нулями поста (рис. 2, а).

$$Hm'_i = Hb_2 + \frac{x_2(Hb_1 - Hb_2)}{(x_1 + x_2)}, \quad (5)$$

где  $Hm'_i$  — искомая высота «псевдонуля».

**2-й вариант.** Урез воды расположен выше обоих нулей поста (рис. 2, б).

$$Hm'_i = Hb_1 + \frac{x_1(Hb_1 - Hb_2)}{x_2}. \quad (6)$$

**3-й вариант.** Урез расположен ниже обоих нулей поста (рис. 2, в).

$$Hm'_i = Hb_1 - \frac{x_2(Hb_1 - Hb_2)}{x_1}. \quad (7)$$

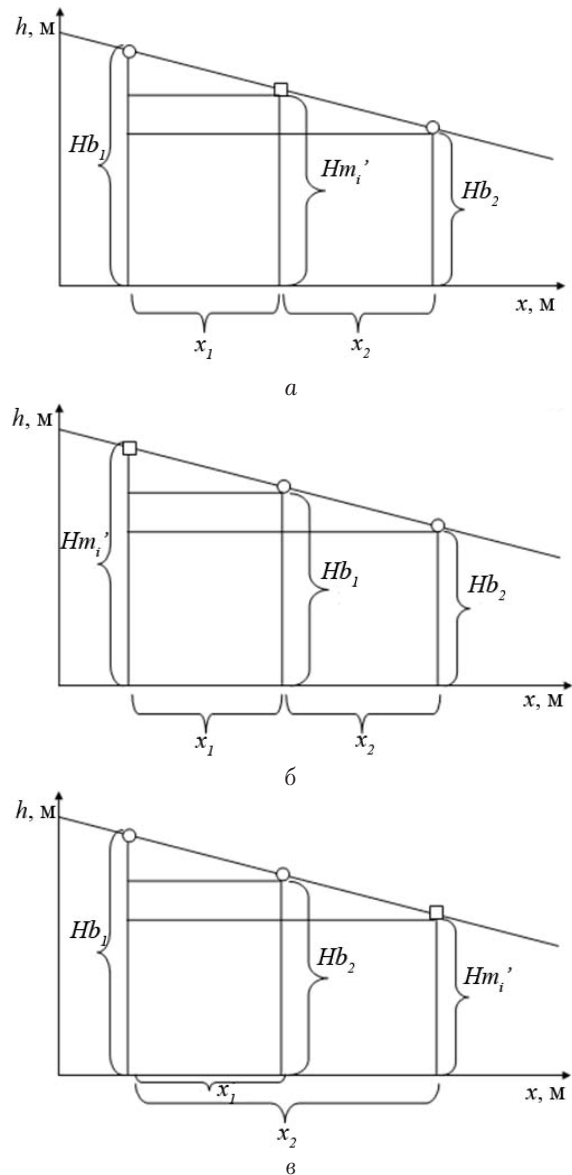


Рис. 2. График функции  $h = f(x)$ , при урезе воды: а — между двумя нулями поста; б — выше обоих нулей поста; в — ниже обоих нулей поста

Существует также уровень поймы  $Hf$  в точке  $F$  — уровень, при котором река выходит на пойму (при превышении которого затопляет окрестные территории). Соответственно,

если для всех  $i$ , принадлежащих  $N$ , выполняется условие  $Hf_i <= Hw_i$ , все данные точки принадлежат зоне затопления  $Sfl_N$ .

Далее происходит определение гидрологических и морфометрических параметров в значениях  $Hs_i$  и  $Hpi$ :

$$Hs_i = \Phi_n(h_d + h_n + h_{fr})/m, \quad (8)$$

где  $\Phi_n$  — относительная площадь подачи воды в долях единицы;

$m$  — относительная убыль снега, при которой из него начинается водоотдача;

$h_d$  — уровень высоты для дневной части суток;

$h_n$  — уровень высоты для ночной части суток;

$h_{fr}$  — уровень высоты для лесистой местности;

$$h_d = 6,2(1 - \beta)\theta_{\max} + 0,65\nu_d(t_d - 0,5) - 1,4\theta_{\min}, \quad (9)$$

$$h_n = 0,65\nu_n(t_n - 0,5) - 1,4\theta_{\min}, \quad (10)$$

$$h_{fr} = ct, \quad (11)$$

где  $t_d$  — среднее значение температуры воздуха днем;

$t_n$  — среднее значение температуры воздуха ночью;

$\nu_d$  — среднее значение скорости ветра днем;

$\nu_n$  — среднее значение скорости ветра ночью;

$\theta_{\min}$  — разность между минимальной и средней суточной температурой воздуха;

$\theta_{\max}$  — разность между максимальной и средней суточной температурой воздуха;

$\beta$  — альbedo снежного покрова (для мелкозернистого влажного снега 0,65–0,55; для зернистого тающего снега 0,55–0,45);

$c$  — коэффициент снеготаяния (для густого хвойного леса — 1,4; для хвойного леса средней густоты и густого смешанного леса — 1,7; для изреженного хвойного леса и лиственного леса средней густоты — 4) [5];

$t$  — отношение площади леса к общей площади территории.

$$Hpi = h_{os} - (1 - \Phi_n)/k, \quad (12)$$

где  $h_{os}$  — уровень осадков;

$k$  — коэффициент инфильтрации.

На данное решение накладывается условие, того что  $\Delta x$  и  $\Delta y$  выбираются достаточно большими для перекрытия области  $T_w$ . Рассчитывая значения функций  $F_e(T_e)$ ,  $F_w(T_w)$  и сравнивая значения функций для множества  $T_e \cap T_w$ , мы получаем множество  $T$  такое, что для каждого  $t \in T$  справедливо  $F_e(t) < F_w(t)$ .

Для решения этой задачи к построению функций применяется метод сплайнов, так как этот метод наиболее удобен для описания медленно меняющихся поверхностей, таких, как высота земной поверхности или уровень водной поверхности. После нахождения функций  $F_e$  и  $F_w$ , производится поиск значений  $(x, y)$ , удовлетворяющих условию  $F_e < F_w$ . При этом интуитивно понятно, что поиск пар значений  $(x, y)$  целесообразно проводить для тех узлов, которые расположены в пространственной близости с множеством  $T_w[(x'_1, y'_1), (x'_n, y'_n)]$ , которое описывает положение реки в пространстве. Для поиска ближайших соседей используется технология построения створов — отрезков, перпендикулярных к осевой линии реки, которые описываются набором координат начала и конца  $[x''_1, y''_1; x''_n, y''_n]$ . Для каждой пары  $(x, y)$ , принадлежащих данному отрезку, рассчитываются значения функций  $F_e, F_w$ , что в конечном итоге позволяет найти область всех значений плоскости, для которых справедливо утверждение  $F_e < F_w$ , удовлетворяющее зоне затопления  $Sfl_N$ .

В качестве входных картографических данных при разработке геоинформационной модели речной сети используются:

- водные объекты (реки, озера, водохранилища);
- населенные пункты РБ;
- административные районы РБ;
- изолинии;
- отметки высот;
- осевые линии рек;
- посты гидрологического контроля;
- прогнозные или оперативные данные об уровнях воды с гидрологических постов службы Башгидромета.

В качестве гидрологической и морфометрической информации предлагается использовать:

- сведения о нулях гидрологических постов;
- меженные уровни урезов воды;
- искусственные псевдопосты;
- среднегодовое значение осадков;
- растительность;

- механический состав почвы;
- данные по снежному покрову в предпаводковый период;
- оперативные данные по погодным характеристикам населенных пунктов РБ (температура, скорость ветра).

Формализованное описание предложенной модели, предложенная методика расчетов уровней воды и вышеописанный набор входных данных составляют основу алгоритма определения границ зон затоплений — набора определенных шагов в виде схемы, с подробным описанием каждого из них.

### АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГРАНИЦ ЗОН ЗАТОПЛЕНИЙ

Алгоритм, представленный на рис. 3, отражает основные семь этапов построения геоинформационной модели речной сети.

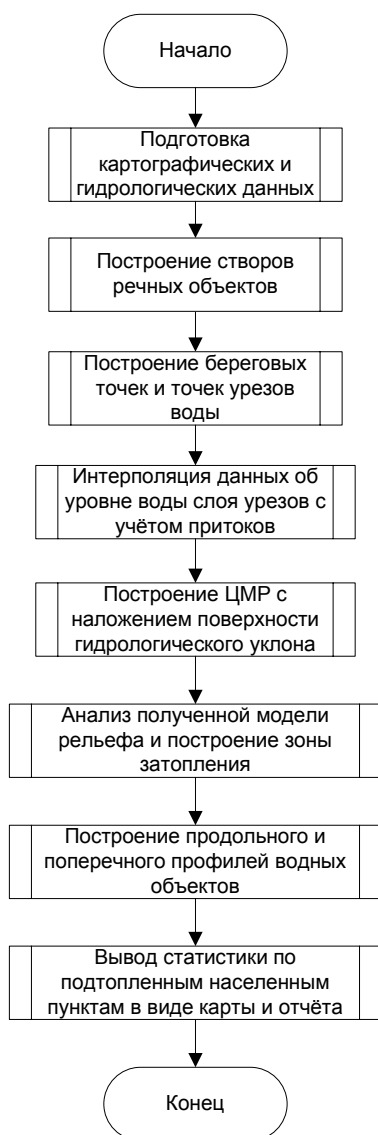


Рис. 3. Алгоритм определения границ зон затоплений

### 1. Подготовка картографических и гидрологических данных

Этап подготовки дополнительных данных обусловлен набором предположений, вносящих погрешность в алгоритм определения границ зон затоплений:

1) гидрологический растр высот строится по высотным значениям береговых точек, точек урезов воды и изолиний, в которых присутствуют области с отсутствующими данными;

2) на территории РБ всего 39 гидрологических постов, по которым имеются базовые данные о нулях поста и откуда приходят ежедневные сведения по поднятиям уровня воды в паводковый период, что напрямую характеризует погрешность в методике расчета;

3) водные объекты на карте масштаба 1:200000 не взаимосвязаны между собой, что не позволяет производить определение границ зон затопления с учетом взаимодействия между узлами сети и в дальнейшем отслеживать динамику распространения затопления;

4) осевые линии по методике должны иметь два значения высоты (начала и конца отрезка), в процентном отношении такая информация присутствует в базе данных в 5-процентном объеме.

#### 1) Изолинии

Определение границ зон затоплений при изменении уровня воды в водных объектах республики Башкортостан (РБ) происходит при непосредственном участии линейного слоя изолиний рельефа РБ. Имеющийся слой содержит изолинии с шагом равным 20 метрам, причем в некоторых областях изолинии отсутствуют. В совокупности данная неточность не позволит определять границы зоны затоплений с достаточной степенью точности. Поэтому возникает необходимость в получении альтернативного слоя изолиний.

Для построения слоя изолиний используются данные космической радарной съемки в растровом формате, с размером ячейки  $82 \times 82$  м, что соответствует трехсекундной модели рельефа. Использование стандартного инструментария панели Spatial Analyst программного продукта ArcGIS 9.1 позволило получить линейный слой изолиний с шагом в 5 метров.

2) Нули гидрологических постов и урезы воды

Добавление слоев нулей гидрологических постов и урезов воды позволяет существенно

повысить точность интерполяции между гидропостами за счет ввода большего количества объектов. Данные по нулям постов получены из гидрологической изученности реки Камы, урезы воды оцифрованы с карты РБ масштаба 1:100000. Для сравнения, общее количество объектов до введения вспомогательных слоев было равно 39, после добавления — порядка 2000.

### 3) Построение топологически корректной речной сети

Построение речной сети дает большие преимущества в плане связности и зависимости элементов сети друг от друга. Одна река может быть представлена в сети в виде большого числа сегментов, соответственно возникает необходимость структурности элементов.

Для построения модели речной сети РБ используются следующие входные данные:

- геометрия линейного слоя осевых рек, в котором содержатся все линейные объекты (реки, ручьи, каналы) и оси полигональных рек РБ. Большинство объектов слоя состоит из нескольких сегментов, что обусловлено особенностями построения сетевой модели;

- атрибутивная таблица слоя осевых рек, в которой содержится информация, описывающая все объекты текущего слоя. Все объекты слоя представлены в виде линий, следовательно, каждый объект имеет свое начало и конец. Атрибуты таблицы «Высота\_1» и «Высота\_2» характеризуют высоту над уровнем моря начала и конца каждого сегмента.

Основной проблемой, возникающей при создании речной сети РБ, является то, что у большинства сегментов рек поля «Высота\_1» и «Высота\_2» не заполнены или равны нулю. Исходя из этого, было принято решение автоматизировать процесс заполнения вышеупомянутых атрибутов.

### 4) Построение цифровой модели рельефа и получение высотных значений осевых линий

Для вычисления высотных атрибутов слоя осевых линий разработан следующий алгоритм:

- в качестве входных данных используются слой изолиний, слой точечных значений высот (гидропосты, нули гидропостов и урезы воды) и слой осей рек.

- в процессе интерполирования (использования инструмента TopoToRaster) слоя изолиний и приведенных выше точечных слоев получается растр со значениями высот.

- для каждого сегмента слоя осевых линий выполняются следующие действия:

- а) определение координат начала и конца сегмента;

- б) нахождение двух ячеек растра, имеющих такие же координаты, как у начала и конца сегмента;

- в) извлечение значения высот для найденных ячеек растра.

- г) запись значений высот в атрибутивную таблицу слоя осевых линий.

В результате выполнения алгоритма таблица атрибутов заполняется значениями высоты. Сетевая модель строится в приложении ArcCatalog 9.1 с помощью мастера создания сетевых моделей. В процессе построения сетевой модели создается числовой атрибут, который заполняется значениями атрибутов «Высота\_1» и «Высота\_2» из атрибутивной таблицы слоя осевых линий. Таким образом, всем узлам сетевой модели присваиваются значения высоты, которые будут использоваться при определении границ зон затоплений.

В результате получаем сетевую модель, состоящую из узлов и ребер сети с хранящейся информацией о связности сети и атрибутами для решения задачи определения границ зоны затопления. Узлами обозначаются точки пересечения сегментов рек, а также истоки рек. Ребрами обозначаются сегменты рек.

### 2. Построение створов речных объектов

Линии створов строятся под прямым углом к осевой линии реки и служат для построения трехмерных наклонных плоскостей зеркала воды. Длину линий створов нужно выбирать так, чтобы их концы отмечали на трехмерной модели местности точки, лежащие выше расчетного значения уровня воды в створе [6].

### 3. Построение береговых точек и точек урезов воды

Для построения корректной цифровой модели рельефа в виде растра необходимо помимо изолиний высот использовать точки рельефа, полученные пересечением линий рек, полигонов рек и изолиний со створами. Кроме того, как уже было отмечено ранее, необходимо, чтобы линии рек имели направление, совпадающее с течением [7]. После нахождения пересечений и записи геометрии в соответствующие слои, производится линейная интерполяция по данным о нулях гидрологического поста и уровню поймы (уровень воды, при котором река выходит на пойму).

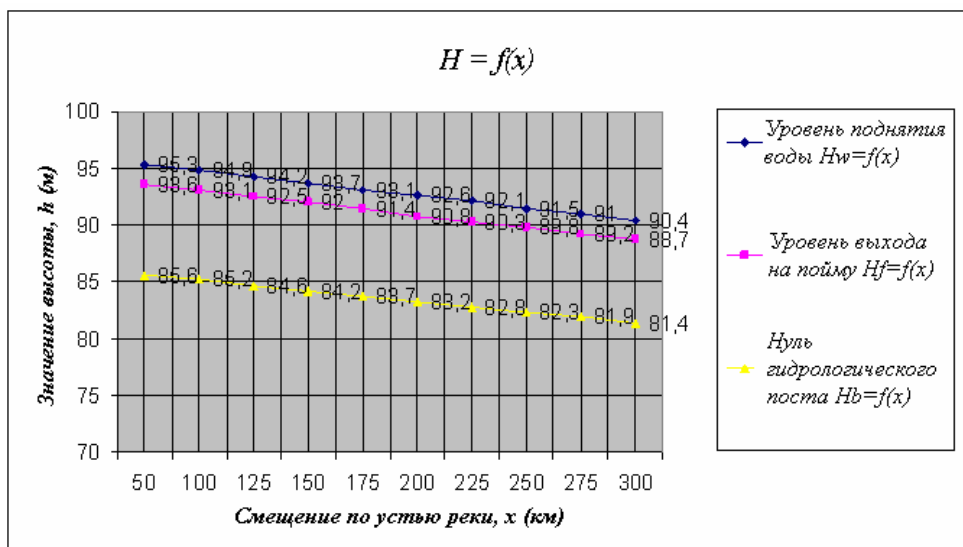


Рис. 4. Построение продольного профиля реки

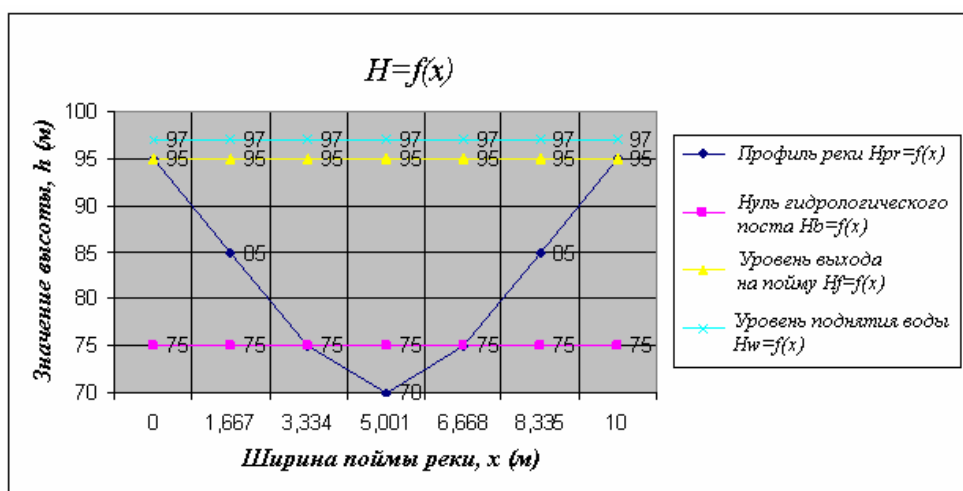


Рис. 5. Построение поперечного профиля реки

#### 4. Интерполяция данных об уровне воды слоя урезов с учетом притоков

С помощью отметки высот на каждом створе производится пространственная интерполяция отметок высот для получения зеркала воды с учетом осевой линии.

В данной системе стоит выделить два вида интерполяции — статическую и динамическую. Названия характеризуют частоту обновления данных, т. е. статическая происходит однажды, при построении береговых точек и точек урезов интерполируются значения нуля гидрологического поста и уровня поймы (уровня, при котором река выходит на пойму), динамическая подразумевает интерполяцию значения уровня воды, которое варьируется по различным датам. В данном случае значение поля будет меняться ровно столько раз, сколько будет пользовательских запросов к системе.

#### 5. Построение ЦМР с наложением поверхности гидрологического уклона

На этом этапе происходит построение цифровых моделей рельефа (ЦМР) и поверхности гидрологического уклона [8]. В процессе построения ЦМР местности участвуют изолинии, береговые точки (уровень значения поймы), точки урезов (значение нуля поста) и направление осевых линий. Поверхность гидрологического уклона строится при помощи одних только точек урезов (уровень поднятия воды). Далее происходит процесс вычитания из цифровой модели местности поверхности гидрологического уклона. При этом справедливо следующее неравенство:

$$\begin{cases} \text{cells1}[i][j] - \text{cells2}[i][j] \leq 0, & f = 0 \\ \text{cells1}[i][j] - \text{cells2}[i][j] > 0, & f = 1, \end{cases} \quad (13)$$

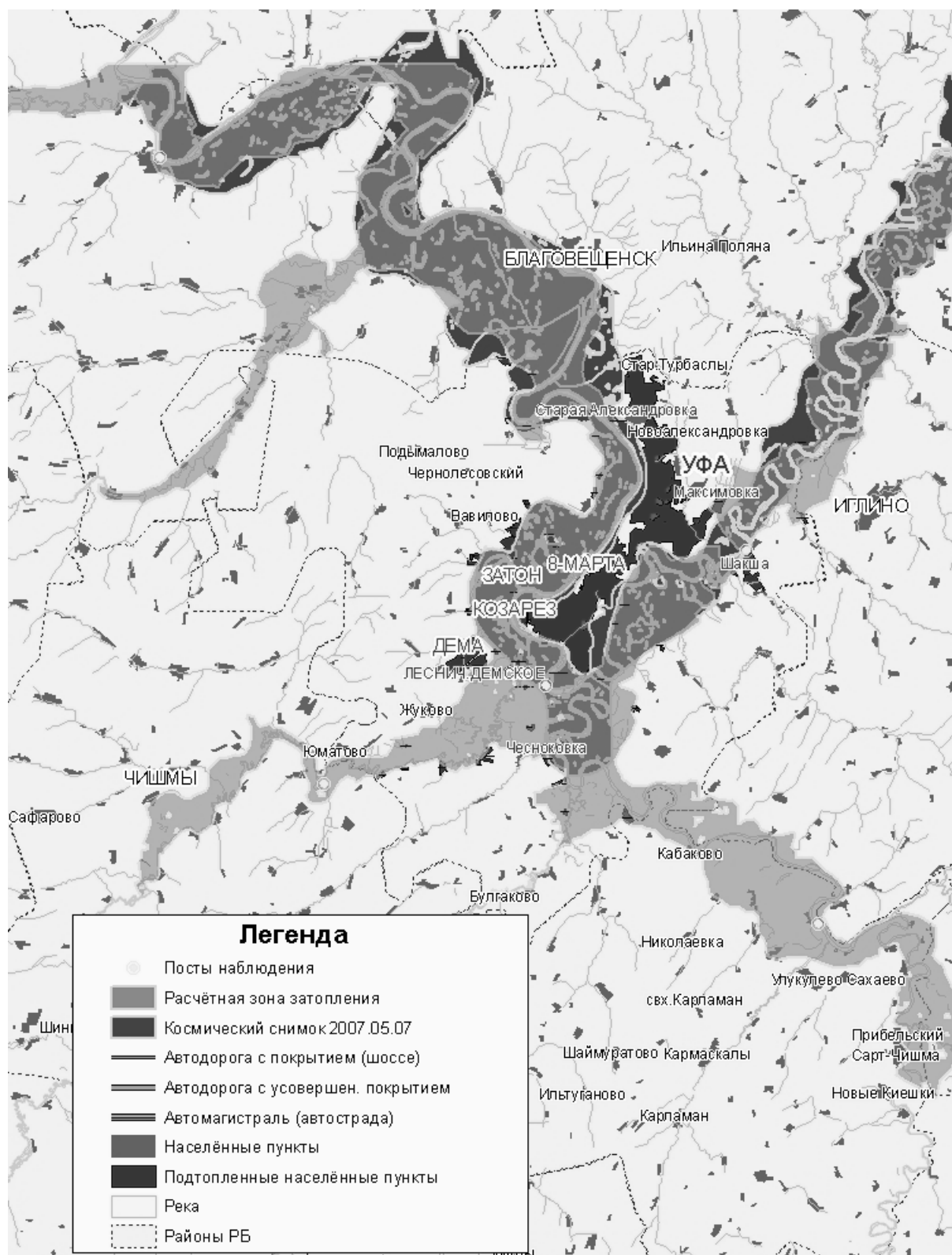


Рис. 6. Сравнение площадей зон затопления, полученных с использованием подсистемы расчета и построения зон затоплений, и космоснимка MODIS за 7 мая 2007 года



где  $cells1$  — ячейки первого растра,  $cells2$  — ячейки второго растра,

$i \in 1 \div N, j \in 1 \div M, N$  — ширина растра,  $M$  — высота растра.

При  $f = 0$  получаем зону затопления, в обратном случае — территория не затоплена.

#### **6. Анализ полученной модели рельефа и построение зоны затопления**

Полученный растр высот подвергается переклассификации (уменьшению числа классов, содержащих некорректные данные), из него исключаются ошибочно определенные зоны и происходит преобразование необходимой области в векторный слой зоны затопления.

#### **7. Построение продольного и поперечного профилей водных объектов**

Для повышения информативности результатов, получаемых в ходе работы методики определения границ зон затоплений, появилась необходимость построения продольных и поперечных профилей водных объектов. Профили показывают высоту нуля гидрологического поста, высотный уровень поймы и уровень воды на текущую дату.

Под продольным профилем реки понимается изображение вертикального разреза русла от истока до устья. Продольный профиль реки позволяет получить информацию о высотах в зависимости от расстояния от устья; наглядно показывает места наибольших и наименьших уклонов и т. д. На рис. 4 изображен фрагмент профиля реки Белая на участке Уфа–Охлебинино: по горизонтальной оси откладываются расстояния от истока по реке, по вертикальной оси — высоты уровня воды. В данном случае данные были взяты в пиковый период паводка 7 мая 2007 г.

Поперечный профиль реки изображает вертикальный разрез русла, построенный по створу реки. На рис. 5 изображен поперечный профиль реки Белая на участке вблизи гидропоста Охлебинино.

#### **8. Вывод статистики по затопленным населенным пунктам в виде карты и отчета**

Помимо вышечисленных этапов система позволяет получать статистику по затопленным населенным пунктам в виде карт и отчетной информации, а также загружать зоны затопления из архива и сравнивать две выбранные зоны затопления.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

Разработанная подсистема расчета зон затоплений, построенная по описанному алгоритму, была внедрена в практическое использование в составе ГИС «Паводок» — автоматизированной системы информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуации для Министерства природы Республики Башкортостан. Подсистема расчета зон затоплений позволяет:

1) автоматизировать процесс расчета уровня воды на водных объектах;

2) определять границы зон затоплений и площади затопленных земель, что в зависимости от используемых данных позволит оперативно реагировать на изменение уровня воды в паводковый период или прогнозировать ситуации перед его наступлением.

На рис. 6 показано сравнение площадей зон затоплений, полученных с использованием подсистемы расчета и построения зон затоплений, и космоснимка спутника MODIS за 7 мая 2007 года на территории Уфимского административного района. Точность определения зоны затопления системой расчета в сравнении со снимком составила 89,04%.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Разработанная геоинформационная модель речной сети позволяет учитывать комплексный набор данных (картографические, гидрологические и морфометрические) для определения границ зон затоплений:

1) на водных объектах, на которых имеются гидрологические посты наблюдения,

2) на водных объектах, на которых нет гидрологических постов наблюдения, но которые связаны с водными объектами, указанными выше (речная сеть).

Точность результатов, полученных при использовании геоинформационной модели речной сети, дает возможность убедиться в ее эффективном применении на практике. Верификация результатов модели позволяет говорить практически о 90-процентном совпадении с результатами космической съемки.

Основными преимуществами разработанной модели являются:

1) использование разных видов информации (картографической, гидрологической и морфометрической): альтернативный слой изолиний, нули поста и урезы воды, высотные значения «псевдонулей» урезов, высотные отметки сетевой модели осевых линий;

2) комбинированный алгоритм определения границ зон затопления при изменении уровня воды в водных объектах с учетом притоков (геометрический и гидрологический подходы).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Павлов, С. В.** Геоинформационная система оценки, моделирования и прогнозирования чрезвычайных ситуаций в Республике Башкортостан / С. В. Павлов, В. Х. Багманов, А. Н. Васильев [и др.] // ArcReview. 2000. №4(15). [Электронный ресурс] ([www.dataplus.ru](http://www.dataplus.ru)).
2. **Мирза, Н. С.** Геометрический подход для решения задачи расчета зон затопления / Н. С. Мирза // Тр. всерос. конф. комп. графики и визуализации GraphiCon'2007. [Электронный ресурс] ([http://www.graphicon.ru/2007/proceedings/Papers/Paper\\_57.pdf](http://www.graphicon.ru/2007/proceedings/Papers/Paper_57.pdf)).
3. **Коваленко, В. В.** Моделирование гидрологических процессов / В. В. Коваленко. СПб. : Гидрометеиздат, 1993. 250 с.
4. **Зайтов, И. Н.** Использование геоинформационных технологий при разработке подсистемы расчета и прогнозирования зон затоплений при паводках / И. Н. Зайтов, О. И. Христодуло, Р. Р. Шарафутдинов // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем : межвуз. науч. сб. Уфа : УГАТУ. С. 77–84.
5. **Климентов, П. П.** Общая гидрогеология / П. П. Климентов, Г. Я. Богданов. М. : Недра, 1977. 357с.
6. **Зайтов, И. Н.** Автоматизированная система информационного обеспечения контроля развития паводковой ситуации в Республике Башкортостан / И. Н. Зайтов, О. И. Христодуло, Р. Р. Шарафутдинов // Управление водными ресурсными системами в экстремальных условиях : тр. междунар. конф. М., 2008.
7. **Pavlov, S. V.** Subsystem of calculation and prognostics of flood areas on Republic Bashkor-

tostan territory in structure of «FLOOD» geoinformation system / I. N. Zaitov, S. V. Pavlov, O. I. Hristodulo, R. R. Sharafutdinov // Proc. of the 9th Intern. Workshop on Computer Science and Information Technologies (CSIT'2007). 2007. Vol. 1. P. 163–168.

8. **Maidment, D.** Hydrologic and hydraulic. Modeling support / D. Maidment, D. Djokic. ESRI Press, 2000. 213 p.

#### ОБ АВТОРАХ



**Павлов Сергей Владимирович**, проф., зав. каф. геоинф. систем. Дипл. математик по спец. «Вычислительная математика» (БГУ, 1977). Д-р техн. наук (УГАТУ, 1998). Иссл. в обл. обработки пространств. данных.



**Христодуло Ольга Игоревна**, доц. каф. геоинф. систем. Дипл. инж. по автоматиз. и механиз. процессов обр. и выдачи инф-и (УАИ, 1991). Канд. техн. наук (УГАТУ, 2000). Иссл. в обл. проектир. и разработки корпорат. инф. систем.



**Шарафутдинов Рашид Рустемович**, мл. науч. сотр. Дипл. инженер по информац. системам и технологиям (УГАТУ, 2006). Иссл. в обл. прикладного применения геоинформационных систем в науке.