

РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПО СТЕПЕНИ ОПАСНОСТИ И ОЦЕНКА РИСКОВ НАВОДНЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

С. Г. ЯКОВЧЕНКО, И. С. ПОСТНОВА, В. А. ЖОРОВ,
О. В. ЛОВЦКАЯ, В. О. ДМИТРИЕВ

Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия
e-mail: spartak@iwep.asu.ru, postnova@iwep.asu.ru

Flooding leads to the serious damage and this is why the problem associated with flooding risk estimations for Western Siberian territories is rather actual today. In this paper we present a method of the flooding risk estimation and zoning of territories according to the flooding risks. Subsequent estimation of possible flooding has been done with the help of large-scale digital maps. The method is tested for Kondoma and Kiya river basins in the Kemerovskaya Region.

Введение

В статье рассматриваются методологические аспекты оценки риска наводнений на уровне отдельного региона с использованием геоинформационных систем (ГИС). Сущность рассматриваемой задачи — зонирование территорий, подверженных затоплению, и оценка характеристик затопления (повторяемость, уровень затопления). В основе оценки риска наводнений лежит расчет зон затопления при прогнозных расходах паводков (и соответствующих им уровнях воды) различной повторяемости. Решение данной задачи связано с определением стока на исследуемых участках реки и включает разномасштабный анализ характеристик территории. На первом этапе с использованием материалов стандартных сетевых наблюдений, полевых обследований, а также данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и цифровых карт мелкого масштаба (М 1 : 500 000) проводится районирование территории по опасности наводнений. На втором этапе для территорий с высоким показателем опасности наводнений проводится расчет уровней, а по ним — зон затоплений с использованием цифровых карт крупного масштаба (М 1 : 25 000–1 : 50 000, М 1 : 2000–1 : 5000).

1. Оценка стока

Оценка стока с изученных и неизученных территорий — наиболее часто проводимый тип расчетов в инженерной гидрологии. В рамках создания блока оценки стока в Институте водных и экологических проблем СО РАН разработан ряд программных продуктов, позволяющих автоматизировать эти вычисления, в первую очередь определение экстремальных характеристик гидрологического режима в произвольном створе реки на основе цифровых данных по территории и материалов гидрологического мониторинга (рис. 1). Если этот створ совпадает со створом гидрологических наблюдений, то при наличии временных рядов гидрологических наблюдений автоматизированное определение таких характеристик проводится программой “Гидростатистика” [1]. Поскольку створы часто не совпадают со створами гидрологических наблюдений, необходима оценка стока, формирующегося на неизученных участках. Такой расчет в настоящее время проводится с помощью метода аналогии [2] или при отсутствии аналогов с помощью методики [3], которая использует большой объем картографических и табличных данных, районизирующих территорию России по гидрологическим режимам, и ряд гидроморфометрических и иных парамет-

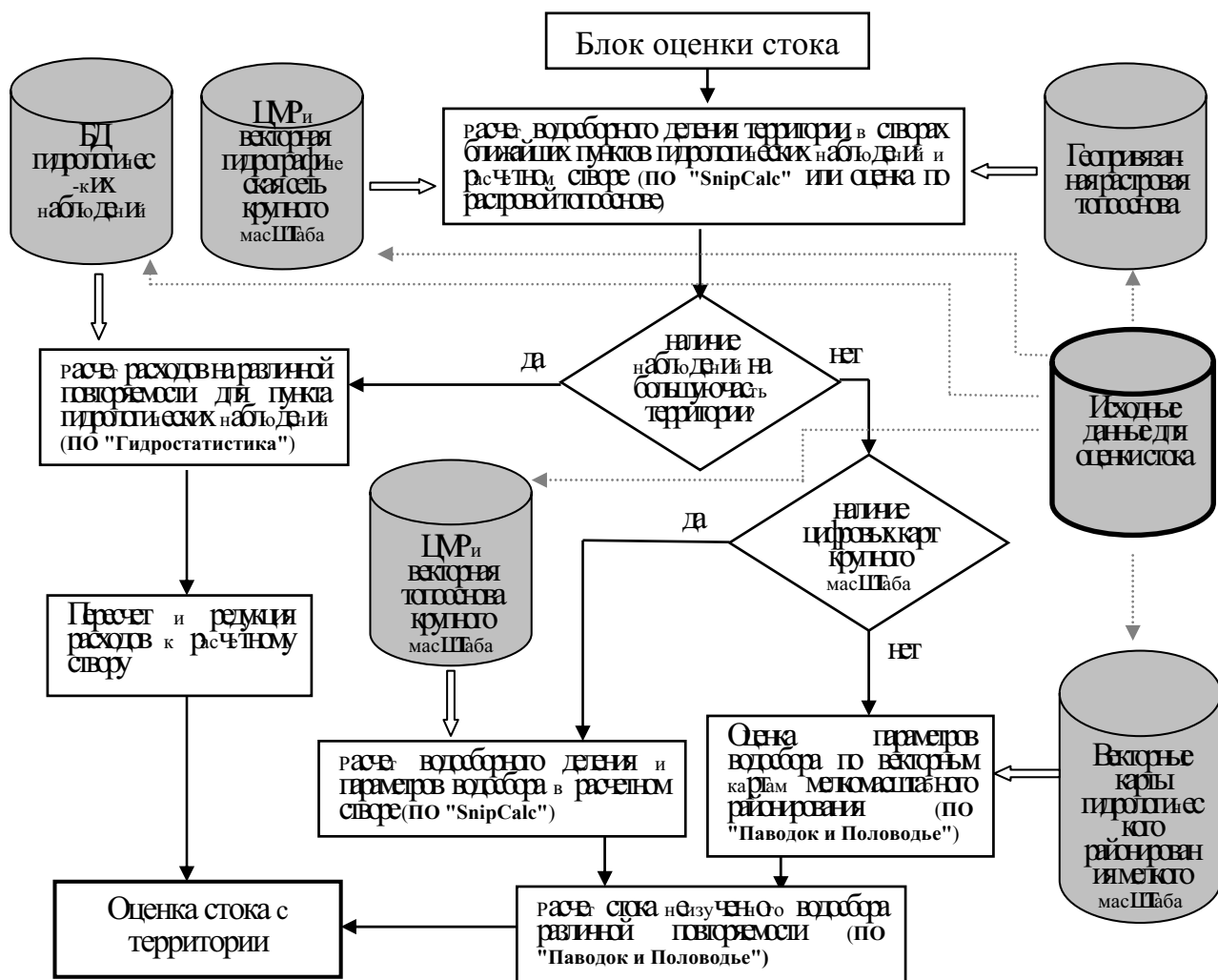


Рис. 1. Блок-схема оценки экстремального стока.

ров водосбора исследуемой реки. Эти же параметры используются в методе аналогий при выборе аналога (если таковой существует) наряду с оценкой тесноты связи стоковых характеристик. Программа “Паводок и Половодье” [4] для расчета максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков неизученных рек реализует методику [3]. При наличии цифровых карт на исследуемую территорию входные данные для нее рассчитываются с помощью геоинформационного приложения “SnipCalc” на базе ГИС ArcView с расширениями Spatyal Analyst и 3D Analyst [5].

2. Мелкомасштабный анализ

Первый этап оценки риска наводнений включает мелкомасштабную оценку ситуации на региональном уровне, результатом которой является выбор территорий, наиболее подверженных опасности затопления. Для этого проводятся подготовка и критический анализ первичной гидрологической информации, в том числе:

- создание электронных баз данных ежедневных расходов и уровней воды по имеющимся постам стандартных сетевых наблюдений;
- удлинение коротких рядов наблюдений с применением статистических моделей (блок оценки стока);
- расчет различными статистическими методами характеристик максимальных расходов и уровней воды различной обеспеченности (1, 5, 20 и 50 %) (блок оценки стока);
- подготовка электронных карт населенных пунктов, подверженных опасности наводнений согласно архивным данным;
- подготовка электронных карт контуров затопления по данным полевых обследований и среднемасштабным ДДЗ (Aster, Landsat и др.).

Методики районирования территорий по степени опасности наводнений в настоящее время еще недостаточно совершенны. Опасность наводнений характеризуется рядом общепринятых показателей: повторяемостью, средним превышением уровней над критическими (уровень выхода воды на пойму или начала подтопления населенных пунктов), длительностью стояния критических уровней. В качестве косвенного интегрального показателя опасности наводнений используется параметр M , вычисляемый по формуле

$$M = \Delta H P \Delta T,$$

где ΔH — среднее превышение максимальных уровней над критическим, м; ΔT — длительность стояния высоких уровней, сут.; P — повторяемость [6].

Районирование речных участков на основе данных показателей включает в себя построение карты местности с информацией о расположении и характеристиках гидростворов. Дополнительно подключается информация о контурах затопления по данным полевых обследований и ДДЗ, а также архивная информация. Результатом проведения мелкомасштабного анализа является карта территорий с высокой опасностью затопления и связанный с ней список населенных пунктов [6]. Данное районирование является весьма условным и необходимо только для выделения паводкоопасных участков.

3. Крупномасштабный анализ

На этапе крупномасштабного анализа для территорий с высокой опасностью наводнений определяются зоны затопления паводками разной повторяемости. На данном этапе после-

довательно решаются три подзадачи:

- определение экстремальных характеристик стока в расчетных створах территории (блок оценки стока);
- расчет паводочных уровней;
- расчет зоны затопления (блок оценки характеристик затопления).

Подготовка данных для расчета зоны затопления включает прежде всего расчет цифровой модели рельефа (ЦМР) на исследуемую территорию по картографическим данным крупного масштаба с учетом обрывов, насыпей и дамб [7] и определение морфометрических характеристик поймы, в частности зависимости живого сечения и ширины водного потока от уровня затопления [8]. Расчет по известным уровням зон затопления и определение их характеристик в ГИС является достаточно стандартной операцией [7, 9]. Схема расчета уровней затопления паводком различной повторяемости представлена на рис. 2 [7, 10].

Необходимость применения различных методов расчета обусловлена имеющимися исходными данными и требованиями к точности расчета области затопления. В таблице приведен обзор способов расчета уровней затопления в ГИС и условий их применения.

В общем случае для расчета высот водной поверхности в опорных створах i зоны затопления по материалам гидрологических наблюдений необходимы кривые уровней $H_i(Q)$ (H_i — абсолютная высота водной поверхности у опорного створа i) и величина расчетного расхода Q [7, 12, 13].

При известном расчетном расходе различной обеспеченности, определенном средствами блока оценки параметров стока, по кривым $H_i(Q)$ можно вычислить соответствующие уровни и определить зоны затопления. Кривые уровней рассчитываются по данным наблюдений или теоретически по известному поперечному профилю русла и коэффициенту шероховатости [13], что требует наличия данных русловой съемки рельефа дна и поймы. Для таких расчетов применяется программа “Морфоствор”, предназначенная для вычисления расхода реки в створах со сложной морфологией русла [11].

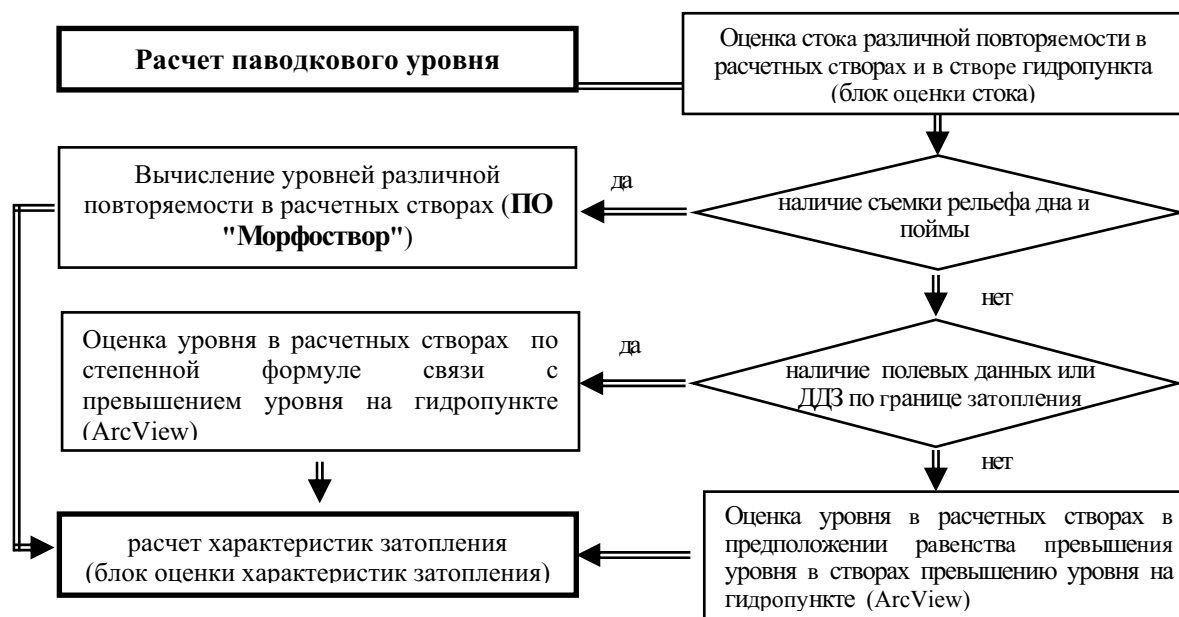


Рис. 2. Блок-схема расчета паводочных уровней в ГИС.

Обзор методов расчета уровней в створе при оценке зоны затопления паводком

Метод	Описание	Необходимые данные	Область применения
Метод кривых уровней	Расчет уровня в створе по расходам в пункте гидрологических наблюдений с использованием кривой уровней $H(Q)$	Русловая съемка или данные наблюдений уровня и расхода в створе; материалы гидрологических наблюдений на пункте	Общая
Метод превышений	Расчет уровня в предположении равенства паводочных уклонов меженным и равенства превышения уровней над меженным	Картографические материалы; материалы гидрологических наблюдений на пункте	Морфометрические параметры долины в створах гидропункта и исследуемом должны быть подобны
Метод оценочных кривых уровней при наличии дополнительных данных	Кривая уровней оценивается с использованием известных контура затопления и оценочного расхода на определенную дату	Картографические материалы, возможно, материалы космической съемки рельефа; данные полевого обследования или космический снимок зоны затопления; материалы гидрологических наблюдений на пункте	Паводочные живое сечение и уровни существенно превышают меженные

Большая стоимость проведения руслово-пойменной съемки и гидрометрических наблюдений в створах вынуждает на практике применять различные методы оценки кривой уровней или самих уровней, основанные на использовании материалов гидрологического мониторинга и данных по продольному профилю русла в межень, данных по рельефу поймы с цифровых карт и ДДЗ, что делает крайне необходимым подключение ГИС к расчетам. На рис. 3 приведен пример интеграции данных различных источников для расчета зон затопления участка р. Кия.

С использованием данных полевых измерений или данных дистанционного зондирования оцениваются кривые уровней, по которым рассчитывается контур затопления на определенную дату T [10]. Применяемый метод оценки основан на использовании формулы связи между превышениями уровней над меженью dZ в створе гидропункта и исследуемом створе:

$$\frac{dZ_{P\%}}{dZ_T} = \left[\frac{dZ_{P\%}^0}{dZ_T^0} \right]^{\kappa/\kappa_0},$$

где величины с индексом “0” относятся к гидропункту; индексом “ T ” помечено значение на дату T , индексом $P\%$ — значение, соответствующее обеспеченности P (повторяемость такого значения вычисляется как $100/P$ лет); показатель $\kappa = 5/3 + 1/n$ характеризует морфометрию поймы (предполагается, что профиль поймы имеет степенную зависимость вида [13]: $z = z_0(y/B_0)^n$, где z — высота над дном, y — плановое расстояние до фарватера, z_0 — высота при $y = B_0$ — полуширине реки в межень, n — показатель степени). На рис. 4 приведен пример реализации данного метода.

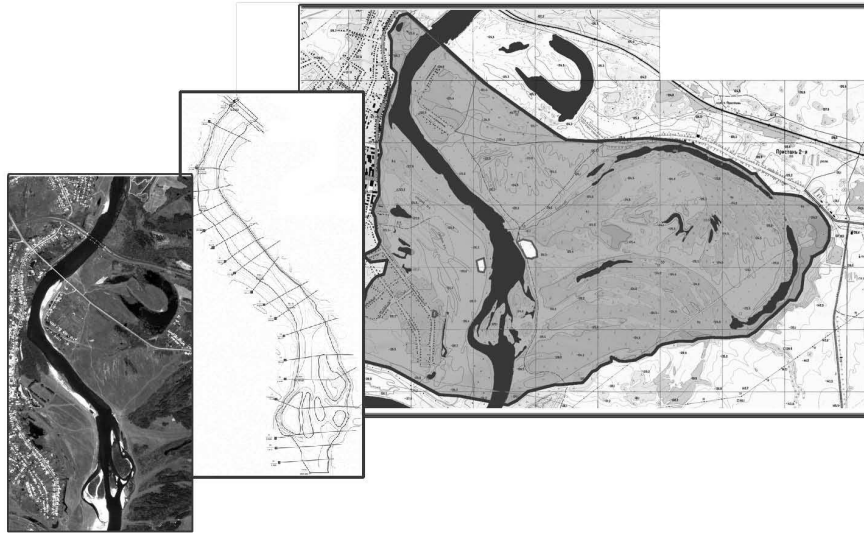


Рис. 3. Пример интеграции данных, полученных из различных источников (космоснимок QuickBird, карта руслово-пойменной съемки и расчетная зона затопления М 1 : 10 000 на участок р. Кия).

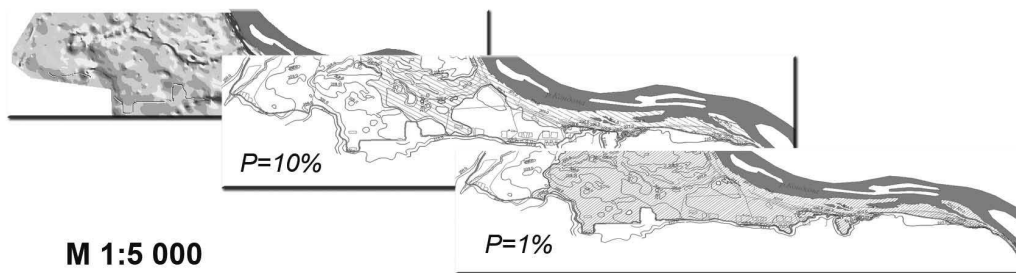


Рис. 4. Контур затопления, построенный по данным полевых измерений, и расчетные зоны затопления разной обеспеченности на участок р. Кондома.

В условиях дефицита информации используется метод равных превышений, предполагающий равенство уклонов водной поверхности в паводок и в межень. Этот метод корректно работает при морфологически подобных условиях в створе пункта и в створах зоны затопления (т. е. при одинаковой форме кривых уровней во всех створах) и достаточно широко используется в расчетах [14]. Высота водной поверхности в любой точке вычисляется по формуле $Z = Z_0 + dZ$, где dZ — подъем уровня воды над картографическим межненным, принимается равным подъему уровня для пункта гидрологического мониторинга.

Заключение

Предложена методика определения риска наводнений на региональном уровне с использованием ГИС, которая включает двухэтапную оценку опасности затопления с разделением на мелкий и крупный масштаб анализа. При решении задачи оценки риска выделены блок оценки стока, блок расчета зон затопления по известным уровням воды. Приведены примеры применения методологии для рек Кондома и Кия.

Список литературы

- [1] ВОРОБЬЕВ Е.К., ЖОРОВ В.А., ЛОВЦКАЯ О.В., ЯКОВЧЕНКО С.Г. Программа “Расчет аналитических кривых обеспеченности” (“Гидростатистика”): Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы № 200060667 от 20.07.2000.
- [2] СП-33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. 2003. 95 с.
- [3] СНиП 2.01.14-83. Определение расчетных гидрологических характеристик. М.: Стройиздат, 1985. 36 с.
- [4] ВОРОБЬЕВ Е.К., ЖОРОВ В.А., ЛОВЦКАЯ О.В., ЯКОВЧЕНКО С.Г. Программа “Расчет максимального стока весеннего половодья и дождевых паводков неизученных рек (FloodHigh)”: Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы № 2001611052 от 20.08.2001.
- [5] ЯКОВЧЕНКО С.Г., ЖОРОВ В.А., ПОСТНОВА И.С. и др. SNIPCALC — геоинформационное приложение для автоматизированного расчета параметров водосборов // ГИС для устойчивого развития территории. 2003. С. 216–221.
- [6] ЖОРОВ В.А., ДМИТРИЕВ В.О., ПОСТНОВА И.С., ЯКОВЧЕНКО С.Г. Планирование рисков наводнений с использованием ГИС-технологий // Ползуновский вест. 2006. № 1–2. С. 190–197.
- [7] ЯКОВЧЕНКО С.Г., ЖОРОВ В.А., ПОСТНОВА И.С. Создание и использование цифровых моделей рельефа в гидрологических и геоморфологических исследованиях. Кемерово: Изд-во ИУУ СО РАН, 2004. 92 с.
- [8] ЯКОВЧЕНКО С.Г., ЖОРОВ В.А., ВАСИЛЬЕВ А.А. ГИС для подготовки пространственных данных и оценки зоны затопления волной прорыва плотины // Матер. Междунар. науч.-техн. выставки-конгр. ГЕО-Сибирь-2005. Т. 4. Новосибирск, 2005. С. 78–82.
- [9] MEIJERINK A.M.J., DE BROWER H.A.M., MANNAERTS C.M., VALENZUELA C. Introduction to the use of geographic information systems for practical hydrology // UNESCO-ITC Publ. 1992. N 23.
- [10] ПОСТНОВА И.С., ЯКОВЧЕНКО С.Г., ДМИТРИЕВ В.О. Технология оценки с помощью ГИС зон затопления весенними паводками малой обеспеченности // Вычисл. технологии. 2005. Т. 10. Спецвыпуск. Ч. 2. С. 39–45.
- [11] ВОРОБЬЕВ Е.К., ЖОРОВ В.А., ЛОВЦКАЯ О.В., ЯКОВЧЕНКО С.Г. Программа “Расчет морфоствора (Morfofstvor)”: Свидетельство Роспатента об официальной регистрации программы № 2002610324 от 26.04.2002.
- [12] ЛЕБЕДЕВ В.В. Гидрология и гидрометрия в задачах. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 699 с.
- [13] НЕЖИХОВСКИЙ Р.А. Руслонная сеть бассейна и процесс формирования стока воды. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 475 с.
- [14] ГАРЦМАН Б.И., КАРАСЕВ М.С., СТЕПАНЕНКО Л.А. Картографирование риска затопления и развития водно-эрозионных процессов в долинах рек горных стран зоны муссонного климата: методические и прикладные аспекты // Водные ресурсы. 2000. Т. 27, № 1. С. 13–20.

Поступила в редакцию 9 ноября 2006 г.