

УДК 614.8: 699.8 (575.2) (04)

## ПРОГНОЗ ОПАСНОСТЕЙ НА ОСНОВЕ ПОСТОЯННО ДЕЙСТВУЮЩЕЙ СИТУАЦИОННО-ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

**Е.В. Арефьева, А.В. Рыбаков**

Представлена разработанная постоянно действующая ситуационно-оптимизационная модель застроенной территории, позволяющая оценивать и прогнозировать текущее и прогнозное превышение критических значений уровней грунтовых вод для различных объектов.

*Ключевые слова:* опасный; природный; чрезвычайные ситуации; природный; техногенный.

Одним из существенных факторов, влияющих на формирование природных опасностей в городах, является подтопление, поскольку подземная гидросфера застроенной территории представляет наиболее динамичную часть среды. Изменение режима грунтовых вод, колебание уровней становятся причиной возникновения опасных процессов – оползневых, карстовых, суффозионных. Эти процессы способствуют также снижению прочностных и деформационных свойств грунтов оснований сооружений, что приводит к различным авариям и чрезвычайным ситуациям. Учитывая структурную неоднородность, значительную изменчивость свойств и состава грунтов застроенной территории, необходимо постоянно отслеживать и корректировать параметры природной и технической подсистем территории, своевременно выполнять и корректировать прогнозные расчеты формирования опасностей [1]. Для выполнения прогнозных оценок природных опасностей, возникающих на застроенной территории применяется математическое и компьютерное моделирование.

Разработанная постоянно действующая ситуационно-оптимизационная модель (ПДСОМ) застроенной территории позволяет не только оценивать превышение критических значений уровней грунтовых вод для различных объектов (как для текущей, так и для прогнозной ситуации), но и прогнозировать активизацию наведенных опасностей, оценивать эффективность принимаемых управленческих решений, направленных на регулирование режима грунтовых вод, ранжировать объекты по их состоянию при фактическом и потенциальном подтоплении для оптимизации распределения затрат

на предупреждение ЧС. Предлагается рассматривать следующие модули-процессоры подсистемы поддержки принятия решений (ППР): информационный (данные мониторинга и вся имеющаяся информация об объекте защиты и объекте управления), оптимизационный (выработка оптимальных решений, направленных на снижение факторов ЧС), диалоговый (выбор оптимального варианта решения, направленного на предупреждение опасности) (рисунок 1).

ПДСОМ является тем инструментом, который позволяет в имитационном режиме оценить: потенциальную и фактическую подтопляемость объектов техносферы; достижение и превышение критического уровня грунтовых вод (УГВ) при развитии подтопления для различных объектов; возможность возникновения наведенных процессов; работу существующих и проектируемых дренажных систем; степень снижения УГВ; степень затопления территории при наводнениях, паводках и разрушениях гидротехнических сооружений; влияние управляющих воздействий (УВ) на природную и техногенную среду [2, 3].

Исходными данными для ПДСОМ является информация по природным и техногенным условиям застроенной территории: инженерно-геологические условия, фильтрационные и прочностные свойства пород, наличие водоупоров, зоны питания и разгрузки, граничных условий, наличие гидравлической связи с поверхностными водами; карты потенциально возможных опасных процессов на данной территории (оползневые, карстовые, просадочные и др.). Исходные данные по техногенным условиям, которые характеризуются особенностями застройки и функциональным назначением территории, от-



Рисунок 1 – Схема взаимосвязей элементов в системе поддержки принятия решений, направленных на предупреждение чрезвычайных ситуаций при подтоплении

личаются по водопотреблению и потерям воды из водонесущих коммуникаций (промышленные зоны, селитебные, лесопарковые зоны); учитываются плотины, водохранилища, реки, каналы. Одним из целевых назначений ПДСОМ является определение фактического и прогнозного показателя подтопленности объекта техносферы и застроенной территории в целом. Для определения показателя потенциальной подтопленности объекта требуется рассчитать прогнозное положение уровня грунтовых вод (УГВ) в результате действия источников подтопления (подпор от водоема, постоянные и аварийные утечки и т. д.). Для расчета прогнозного положения УГВ разработан авторский программно-вычислительный комплекс, составляющий содержание ПДСОМ, в основе которого математическое моделирование процесса геофильтрации. На ПДСОМ осуществляется также прогноз развития наведенных подтоплением опасных процессов. Карты районирования застроенной территории по потен-

циальной природной опасности отображаются на карту потенциального и фактического подтопления, что позволяет спрогнозировать и оценить их активизацию при повышении уровня грунтовых вод. Процессуальная схема решаемых задач на ПДСОМ представлена на рисунке 2.

Процесс подтопления описывается математической моделью, представляющей уравнение геофильтрации для описания нестационарной плановой фильтрации (уравнение Буссинеска) с соответствующими краевыми условиями [4].

Такие уравнения не имеют аналитического решения, поэтому применяется численное моделирование. Используются явные или неявные разностные схемы, например, схема Дюфорта-Франкела и метод переменных направлений. На область фильтрации накладывается сетка, а исходные данные, необходимые для расчетов, заносятся в каждую ячейку сетки. В ПДСОМ впервые реализован оригинальный ввод исходной информации, который позволяет учитывать

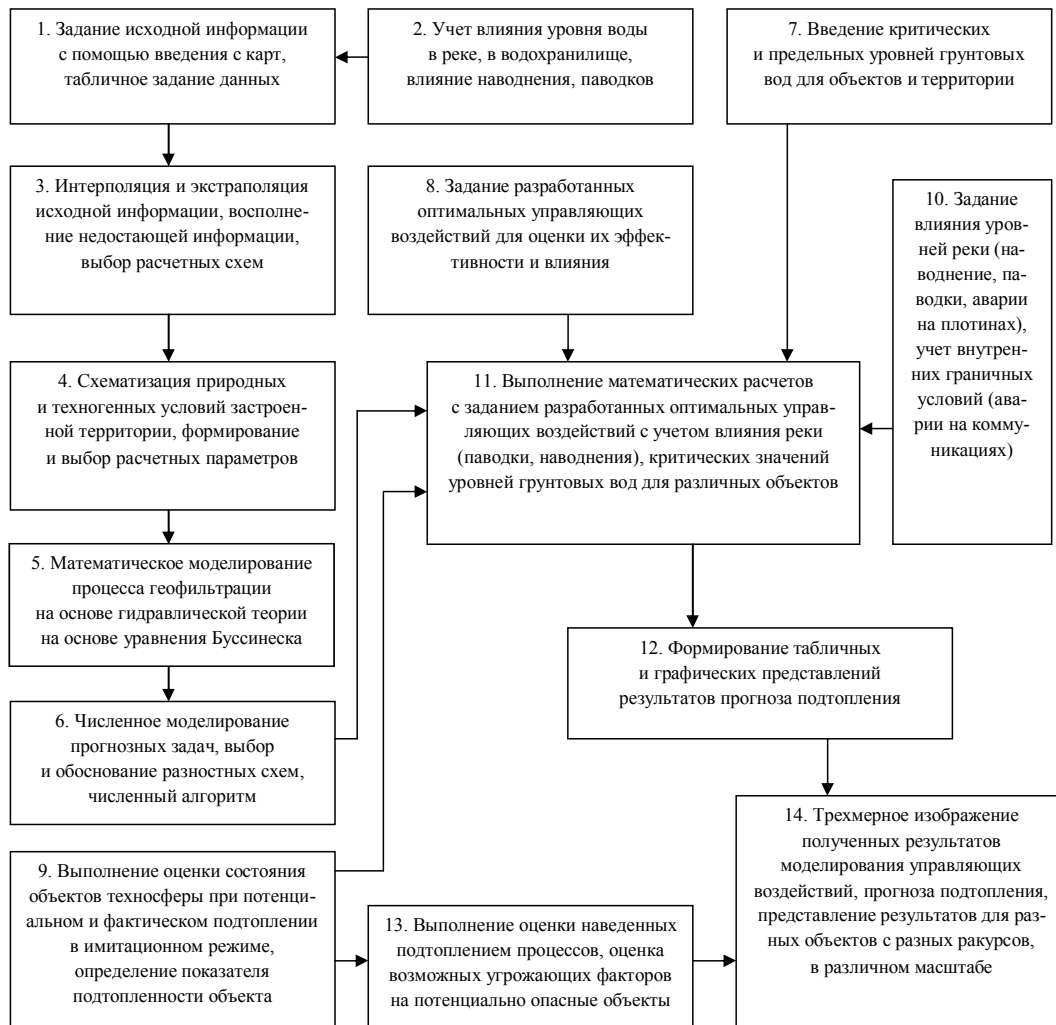


Рисунок 2 – Процессуальная схема решаемых задач на ПДСОМ для выполнения оценочных прогнозов подтопления и наведенных опасных природных процессов

всю архивную, фондовую информацию об инженерно-геологических и гидрогеологических условиях застроенной территории, заданную на бумажных носителях.

Ввод данных включает послойное графическое задание расчетных параметров (в виде карт соответствующих изолиний), граничных условий, критических и начальных уровней грунтовых вод, рельефа местности, что позволяет перевести их в монохроматический формат, в котором числовые значения параметров соответствуют оттенкам выбранного цвета, что позволяет программному комплексу воспринимать данный формат как числовые данные, непрерывно распределенные в исследуемой области.

Изменение интенсивности оттенка выбранного цвета соответствует изменению числовых значений параметров исходных данных. Вводимые данные могут быть одновременно представлены тремя форматами: в табличном, числовом задании (в каждой ячейке) в графическом моноцветовом изображении. Использование такого ввода данных позволяет разбивать область фильтрации на любое количество ячеек, ограничиваемое памятью компьютера, значительно упрощая и сокращая по времени ввод данных и повышая точность расчетов.

На ПДСОМ определяется также показатель подтопленности объекта и территории – это отношение подтопленной площади ко всей площа-

Таблица 1 – Результаты расчетов параметров волны прорыва и площади затопления территории

Параметры волны прорыва и площадь затопления территории	Результаты расчетов
Ширина брешы по урезу воды при УМР – $b_{\text{умр}}$ , м	21
Высота волны в нулевом створе $H_0$ , м	3,886
Высота волны прорыва в нулевом створе $H_{\text{во}}$ , м	2,886
Время опорожнения водохранилища $T_0$ , мин	7
Скорость гребня волны прорыва между нулевым и первым створами $C_{\text{гр1}}$ , км/ч	4,2
Время добегания гребня волны до первого створа $t_{\text{гр1}}$ , мин	16,5
Высота волны прорыва в первом створе $H_{\text{в1}}$ , м	0,44
Высота волны в первом створе $H_1$ , м	1,64
Скорость фронта волны прорыва между нулевым и первым створами $C_{\text{фр}}$ , км/ч	10,3
Время добегания фронта волны до первого створа $t_{\text{фр1}}$ , мин	6,7
Скорость хвоста волны прорыва между нулевым и первым створами $C_{\text{хв1}}$ , км/ч	2,1
Время добегания хвоста волны прорыва от нулевого до первого створа $t_{\text{хв1}}$ , мин	33,1
Время, за которое хвост волны прорыва пройдет первый створ $T_{\text{хв1}}$ , мин	40,1
Площадь затопления территории $S$ , м <sup>2</sup>	42000

ди (текущее состояние, в имитационном режиме в результате действия дренажных систем и с учетом техногенных воздействий). Основным критерием подтопленности объекта и территории считается соотношение критического уровня грунтовых вод и фактического. Для расчета потенциального подтопления используется также критерий потенциальной подтопленности (Дзекцер, 1986 г.) [5]. Введенные критические уровни грунтовых вод для объектов и территории в автоматическом режиме на ПДСОМ позволяют определять площадь, пораженную действием подтопления, и оценивать влияние подтопления на развитие наведенных процессов [1]. Показатель состояния объектов при подтоплении является основанием для ранжирования территории и объектов техно-сферы по организации предупредительных и защитных мероприятий [1]. Зная прогноз развития подтопления как потенциального фактора ЧС и примерный ущерб объекту и территории при реализации факторов ЧС, определяем векторный RS-показатель объектов и территории для ранжирования объектов и районов города по очередности выполнения предупредительных и защитных мероприятий с целью предупреждения ЧС.

В качестве примера применения разработанной ПДСОМ рассмотрим прогноз затопления и подтопления территории в одном из городов Московской области, где на реке расположена небольшая плотина. На ПДСОМ можно рассчитать зону подтопления территории, а также, рассчитав по стандартным методикам основные параметры волны прорыва и подъем воды

в реке, получить картину затопления территории (рельеф местности задан картографически в ПДСОМ).

Исходные данные для расчета волны прорыва: полный объем водохранилища – 300 106 м<sup>3</sup>; площадь поверхности зеркала водохранилища – 143,4 км<sup>2</sup>; длина плотины –  $B_w = 21$  м; коэффициент шероховатости водотока –  $n_1 = 0,067$ ;

$H_{\text{умр}}$  – глубина воды перед ГТС до прорыва;  $h_1$  – средняя глубина реки на первом участке;  $b_w$  – ширина брешы;  $J_1$  – средний уклон реки на первом участке;  $J_1 = 0,0027$ .

В таблице 1 приведен расчет волны прорыва по методике [6].

На рисунке 3 приведена используемая для прогнозных расчетов оцифрованная карта уровней грунтовых вод участка территории, включающего плотину. Создается 3D-модель рельефа местности и реки в 3D-формате для прогноза затопления территории в случае аварийного разрушения плотины, сопровождающегося подъемом уровня воды за телом плотины на 2 м, а перед плотиной опусканием уровня на 0,5 м.

В отличие от существующих моделей подтопления и затопления территории разработанный комплекс позволяет в едином итерационном процессе определять превышение критического уровня грунтовых вод для различных объектов, учитывать различные ограничения на выработку управляющих воздействий, учитывать и вводить

всю архивную и фондовую информацию, прогнозировать наведенные подтоплением процессы и зону затопления территории при подъеме уровня воды в водоеме. Разработанный комплекс имеет возможность расширения, доработки и позволяет вводить дополнительные ограничения экономического, экологического или технологического характера, поскольку построен по блочному принципу.

Представляется целесообразным включить ПДСОМ в систему предупреждения чрезвычайных ситуаций конкретной территории, в частности в ее подсистему поддержки принятия решений.

### *Литература*

1. *Арефьева Е.В.* Оценка территориальной безопасности при подтоплении / Е.В. Арефьева, В.И. Мухин. М.: АПГС МЧС России, 2008. 101 с.
2. *Арефьева Е.В.* Регулирование режима грунтовых вод при подтоплении объектов и застроенных территорий / Е.В. Арефьева // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 11. С. 47–48.
3. *Гавич И.К.* Теория и практика применения моделирования в гидрогеологии / И.К. Гавич. М.: Недра, 1980. 358 с.
4. *Дзекцер Е.С.* Инженерная защита застраиваемых территорий от подтопления / Е.С Дзекцер // Проектирование и инженерные изыскания. 1986. № 5. С. 27–29.
5. *Арефьева Е.В.* Подтопление объектов и застроенных территорий как потенциальный источник чрезвычайных ситуаций / Е.В. Арефьева //



Рисунок 3 – Введение исходной информации с помощью специального программного комплекса в ПДСОМ [7]

Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10. С. 33–34.

6. Методика расчета по определению параметров волны прорыва и зон затопления: Приказ Минприроды РФ № 412 от 15 декабря 2009 года.
7. *Арефьева Е.В.* Прогнозирование природных опасностей застроенной территории при подтоплении с использованием постоянно действующей ситуационно-оптимизационной модели / Е.В. Арефьева, А.И. Зиганшин // Тр. междунауч. науч.-практ. конф. “Проблемы устойчивости и безопасности жизненного пространства человека”, 26–27 марта 2011 г. М., 2011.