

УДК 528.8+504

О. С. БУТЕНКО, С. И. ГОРЕЛИК

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ЗОН ВОЗМОЖНЫХ ПОДТОПЛЕНИЙ

В данной статье рассматривается задача оценки степени влияния внешних факторов на изменение геометрических характеристик подтопления в условиях недостаточной априорной информации. Для решения поставленной задачи была разработана методика получения экспертных оценок факторов подтопления. При определении степени влияния внешних факторов на изменение площади и границ зон возможных подтоплений использован метод весовых коэффициентов с учетом компетентности эксперта. Для анализа взаимной корреляции анализируемых факторов был построен ориентированный граф усиления. Количественные оценки степени усиления влияния одного фактора другим отображено в матрице достижимости. При определении максимально влияющих факторов подтопления использовался инвертированный вариант алгоритма Флойда.

Ключевые слова: подтопление подземными водами, экспертная оценка, факторы подтопления, граф усиления, алгоритм Флойда, матрица достижимости.

Введение

Урбанизация территории приводит к появлению различных неблагоприятных процессов, одним из которых является подтопление подземными водами. Так, подтоплению подвержено около 11% территории Украины, в которых проживает до 20% всего населения. В Харьковской области данная проблема охватывает 39 городов и 205 сел [1].

Проведение текущего мониторинга позволит своевременно выявлять зоны подтопления для своевременного предупреждения возможных негативных последствий. При этом для повышения точности прогнозирования изменений геометрических характеристик зон возможных подтоплений в условиях недостаточной априорной информации целесообразным является получение комплексных интервальных оценок на основе теории нечетких множеств.

Для локализации этих зон в первую очередь необходимо определить степень влияния каждого фактора на процесс подтопления и оценить возможность их комбинаторного влияния. Разнообразие гидрогеологических условий и недостаточная статистическая информация не позволяет непосредственно установить степень влияния различных факторов на подъем уровня грунтовых вод. Данная задача может быть решена с помощью введения экспертных оценок, а именно, за счет:

- выбора метода определения экспертных оценок и методики расчета;
- создания типового бланка факторов подтопления и проведения опроса экспертов;
- проведения расчета по выбранной методике;

- определения степени влияния коррелированных факторов.

1. Обоснование выбора метода определения экспертной оценки степени влияния факторов

В результате анализа геологической информации и литературных данных, наиболее подходящим для определения степени влияния факторов подтопления является метод весовых коэффициентов [2]. Выбор данного метода обусловлен возможностью количественной оценки каждого фактора подтопления. Он заключается в присвоении всем признакам количественных оценок в интервале от 0 до 10 по следующей шкале:

- 0-2 – очень низкая степень влияния;
- 2-4 – низкая степень влияния;
- 4-6 – средняя степень влияния;
- 6-8 – высокая степень влияния;
- 8-10 – очень высокая степень влияния.

Эксперты выбираются в количестве 10-15 человек на основании их компетентности в области гидрогеологии и инженерной геологии, что позволяет достичь более точных результатов [3].

Необходимо учесть, что обобщенное мнение экспертов формируется с использованием методов математической статистики.

Методика определения экспертных оценок состоит из двух этапов.

Первый этап заключается в определении коэффициента компетентности эксперта по следующей формуле:

$$K_k = \frac{K_{зн} + K_n}{2}, \quad (1)$$

где K_k – коэффициент компетентности эксперта;

$K_{зн}$ – коэффициент степени знакомства эксперта с обсуждаемой проблемой;

K_n – коэффициент аргументированности.

Коэффициент степени знакомства ($K_{зн}$) с обсуждаемой проблемой определяется путем самооценки эксперта по десятибалльной шкале. Значения баллов для самооценки следующие:

0 - эксперт не знаком с вопросом;

1,2,3 - эксперт плохо знаком с вопросом, но вопрос входит в сферу его интересов;

4,5,6 - эксперт удовлетворительно знаком с вопросом, не принимает непосредственного участия в практическом решении вопроса;

7,8,9 – эксперт хорошо знаком с вопросом, участвует в практическом решении вопроса;

10 – вопрос входит в круг узкой специализации эксперта.

Эксперту предлагается самому оценить степень своего знакомства с вопросом и выбрать соответствующий балл. Затем этот балл умножается на 0,1 и получается коэффициент степени знакомства ($K_{зн}$).

Коэффициент аргументированности (K_n) учитывает структуру аргументов, послуживших эксперту основанием для определенной оценки. Коэффициент аргументированности предлагается определить в соответствии с таблицей 1 путем суммирования значений, отмеченных экспертом в клетках представленной таблицы [4].

Согласно [4], уровень компетентности экспертов не учитывается, если оно не удовлетворяет условию $0,67 \leq K_k \leq 1,00$.

На втором этапе авторы предлагают рассчитать среднее статистическое значение S_j признака с учетом уровня компетентности экспертов

$$S_j = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} \times m_{ij}}{\sum_{i=1}^m m_{ij}}, \quad (2)$$

где m_{ij} – количество экспертов, оценивающих j -й признак;

i – номер эксперта; $i = 1, \dots, m$;

j – номер признака, $j = 1, 2, \dots, n$.

n – количество признаков;

a_{ij} – весовой коэффициент признака.

Для получения весового коэффициента степени влияния среднее статистическое значение каждого S_j признака умножается на 0,1.

2. Формирование бланка опроса экспертов

По имеющимся признакам был разработан бланк опроса экспертов, состоящий из трех блоков. В первом блоке эксперт указывал степень влияния каждого фактора на процесс подтопления для территории Харьковской области. Для оценки предложено 16 факторов и предпосылок:

1. Избыточный полив сельхозугодий (We).
2. Переток из нижележащих водоносных горизонтов (Ouh).
3. Подпор от искусственных водоемов (Bw).
4. Подпор от намывных или засыпанных территорий (Bp).
5. Барражный эффект (B).
6. Инфильтрация атмосферных осадков (Wn).
7. Отсутствие искусственного дренажа (Dl).
8. Низкая дренированность территорий (Dtl).
9. Нарушение поверхностного стока за счет застройки (Ri).
10. Утечки от «мокрых» предприятий (Lwe).
11. Утечки из коммуникаций (Lc).
12. Места добычи полезных ископаемых (Mo).
13. Неглубокое залегание водоупора (Cdl).
14. Геоморфологические предпосылки. Пойменные участки (FP).
15. Геоморфологические предпосылки. «Низкие» террасы (Tl).
16. Геоморфологические предпосылки. «Высокие» террасы (Th).

Таблица 1

Значения коэффициента аргументированности

| Источник аргументации | Степень влияния на мнение эксперта | | |
|--|------------------------------------|---------|--------|
| | высокая | средняя | низкая |
| Проведенный экспертом теоретический анализ | 0,3 | 0,2 | 0,1 |
| Производственный опыт эксперта | 0,5 | 0,4 | 0,2 |
| Обобщение работ отечественных авторов | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Обобщение работ зарубежных авторов | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Личное знакомство эксперта с состоянием дел за рубежом | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Интуиция эксперта | 0,05 | 0,05 | 0,05 |

Во втором и третьем блоке респондент указывает уровень знакомства с предметом исследования и степень аргументации для вычисления коэффициент компетентности эксперта (K_k).

В анкетировании приняло участие $m=13$ специалистов. Эксперты, заполняющие бланки, работают в различных структурах и при выставлении оценок не советовались друг с другом. При обработке выяснилось, что у двух экспертов $K_k < 0,67$, в связи с чем, их результаты не учитывались в расчетах.

Бланки обрабатывались по описанной выше методике. Результаты приведены в таблице 2.

3. Определение степени комбинаторного влияния факторов на процесс подтопления

В естественных условиях факторы подтопления взаимодействуют между собой и увеличивают вероятность подтопления. Наиболее удобным представлением данных связей является ориентированный граф [5] (рис. 1), который показывает взаимодействие факторов и их усиление. Вершинами графа являются факторы подтопления, приведенные выше. Их взаимосвязь представлена дугами (ребрами). Направление стрелок указывает на усиление влияния.

После построения результирующего графа усиления взаимодействия факторов и объекта следующим этапом является построение матрицы достижимости, которая отображает непосредственное влияние усиления одним фактором другого.

В таблице 3 представлена матрица достижимости графа, представленного на рис.1, где строки матрицы – факторы подтопления, а столбцы – факторы, действие которых усиливается рассматриваемым фактором влияния. Значение “1” – в матрице достижимости означает, что усиление существует, “0” – усиление отсутствует.

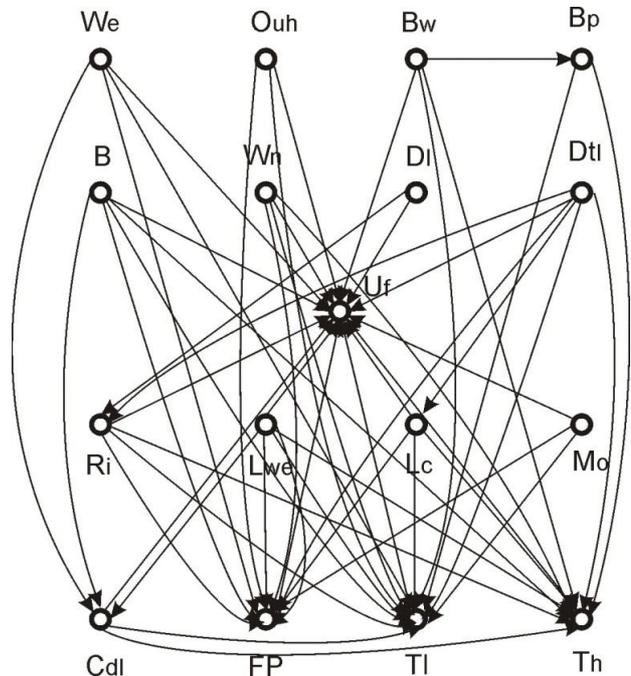


Рис. 1. Граф усиления комбинаторного влияния факторов подтопления. Uf – процесс подтопления (подъем уровня грунтовых вод)

Таблица 2

Результаты расчетов коэффициентов влияния факторов на подтопление

| j \ i | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | S |
|----------|------|-----|-----|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|--------|
| We | 3 | 4 | 3 | 7 | 1 | 3 | 3 | 2 | 5 | 4 | 3 | 0,3497 |
| Ouh | 7 | 2 | 2 | 4 | 6 | 4 | 4 | 7 | 4 | 8 | 5 | 0,4814 |
| Bw | 8 | 5 | 6 | 8 | 8 | 6 | 6 | 6 | 7 | 4 | 8 | 0,6638 |
| Bp | 4 | 7 | 6 | 9 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 6 | 8 | 0,5746 |
| B | 7 | 7 | 4 | 9 | 8 | 5 | 3 | 5 | 7 | 4 | 3 | 0,5638 |
| Wn | 1 | 5 | 4 | 7 | 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 7 | 3 | 0,3599 |
| Dl | 2 | 8 | 7 | 4 | 1 | 5 | 6 | 7 | 7 | 3 | 8 | 0,5266 |
| Dtl | 5 | 8 | 6 | 4 | 4 | 5 | 7 | 7 | 5 | 6 | 8 | 0,5938 |
| Ri | 2 | 9 | 9 | 10 | 6 | 5 | 5 | 5 | 6 | 8 | 10 | 0,6808 |
| Lwe | 7 | 8 | 9 | 9 | 1 | 5 | 7 | 8 | 10 | 10 | 10 | 0,7678 |
| Lc | 5 | 10 | 9 | 5 | 3 | 5 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 0,7345 |
| Mo | 1 | 2 | 2 | 3 | 2 | 4 | 7 | 6 | 3 | 8 | 8 | 0,4209 |
| Cdl | 8 | 2 | 3 | 3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 10 | 7 | 8 | 0,5254 |
| FP | 9 | 8 | 7 | 9 | 8 | 8 | 8 | 8 | 9 | 4 | 8 | 0,7898 |
| Tl | 5 | 6 | 5 | 6 | 6 | 3 | 4 | 6 | 5 | 4 | 4 | 0,4904 |
| Th | 1 | 0 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 2 | 2 | 4 | 2 | 0,1972 |
| $K_{зн}$ | 1,0 | 0,7 | 0,4 | 0,9 | 0,8 | 0,5 | 0,9 | 0,6 | 0,6 | 0,6 | 0,9 | |
| K_a | 0,9 | 0,9 | 1,0 | 0,9 | 0,7 | 0,9 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,8 | 1,0 | |
| K_k | 0,95 | 0,8 | 0,7 | 0,9 | 0,75 | 0,7 | 0,95 | 0,7 | 0,75 | 0,7 | 0,95 | |

Поступила в редакцію 5.05.2014, рассмотрена на редколлегии 19.05.2014

Рецензент: д-р техн. наук, проф., зав. каф. минералогии, петрографии и полезных ископаемых И. М. Фык, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина.

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЗОН МОЖЛИВИХ ПІДТОПЛЕНЬ

О. С. Бутенко, С. І. Горелик

У даній статті розглядається задача оцінки ступеня впливу зовнішніх факторів на зміну геометричних характеристик підтоплення в умовах недостатньої апріорної інформації. Для вирішення поставленої задачі було розроблено методику отримання експертних оцінок факторів підтоплення. При визначенні ступеня впливу зовнішніх факторів на зміну площі і меж зон можливих підтоплень використано метод вагових коефіцієнтів з урахуванням компетентності експерта. Для аналізу взаємної кореляції аналізованих факторів був побудований орієнтований граф підсилень. Кількісні оцінки міри посилення впливу одного чинника іншим відображено в матриці досяжності. При визначенні чинників, що максимально впливають на підтоплення, використовувався інвертований варіант алгоритму Флойда.

Ключеві слова: підтоплення підземними водами, експертна оцінка, фактори підтоплення, граф підсилень, алгоритм Флойда, матриця досяжності.

THE DETERMINATION TECHNIQUE OF EXPERT ESTIMATIONS FOR EXPOSURE OF POSSIBLE AREAS UNDERFLOODING

O. S. Butenko, S. I. Gorelik

In this article it is considered the task of estimation degree the influence of external factors on change the geometrical characteristics of underflooding under a condition of a priori insufficient information. It was developed the technique of receiving expert estimates of factors underflooding for the solution of an objective. For determining extent of influences the external factors on change of the area and borders of possible underfloodings zones it was used the method of gravimetric coefficients at the accounting of experts competence. It was constructed the oriented count of strengthening for the analysis analyzable factors of cross-correlation. In the matrix of attainability there are represented the quantitative estimates of extent strengthening one factor another. Defining the most influencing factors of underflooding it was used the Floyds inverted variant of algorithm.

Key words: underflooding, functions of belonging of fuzzy sets, waterproof layer, chalk-marly aquiferous horizon, exceeding above the level of the river underwaters.

Бутенко Ольга Станиславовна – д-р техн. наук, проф., проф. кафедри производства радиотехнических систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: OS-B@bk.ru.

Горелик Станислав Игоревич – аспирант кафедри производства радиотехнических систем летательных аппаратов, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков, Украина, e-mail: stas_gor@ukr.net.