

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**СЕРІКОВА ОЛЕНА МИКОЛАЇВНА**



УДК 502.171:556(477)(043.3)

**ПРОГНОЗУВАННЯ І УПРАВЛІННЯ РІВНЕМ ҐРУНТОВИХ ВОД ДЛЯ  
ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАБУДОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ  
УКРАЇНИ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Суми – 2019

**Дисертація є кваліфікаційною науковою працею на правах рукопису.**

Робота виконана на кафедрі інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник –**

доктор геологічних наук, доцент  
**Яковлєв Валерій Володимирович,**  
Харківський національний університет  
міського господарства ім. О. М. Бекетова  
Міністерства освіти і науки України,  
професор кафедри інженерної екології міст,  
м. Харків.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор  
**Юрченко Валентина Олександрівна,**  
Харківський національний університет  
будівництва та архітектури  
Міністерства освіти і науки України,  
завідувач кафедри безпеки життєдіяльності  
та інженерної екології, м. Харків;

доктор технічних наук, доцент  
**Сотник Микола Іванович,**  
Сумський державний університет  
Міністерства освіти і науки України,  
доцент кафедри прикладної  
гідроаеромеханіки, м. Суми.

Захист дисертації відбудеться 12 квітня 2019 р. о 14 год 00 хв на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

Із дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, та на сайті спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04 за електронною адресою: <http://sumdu.edu.ua/ukr/scientific/scientific-council/32-scientific/scientific-council/5367.html>.

Автореферат розісланий 6 березня 2019 року.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради Д 55.051.04



І. Ю. Аблєєва

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Підтоплення призводить до руйнування матеріалів підземних комунікацій, забруднення усього підземного простору міст, зокрема верхніх горизонтів підземних вод, виникнення болотистих ділянок і затоплення підземних приміщень у житлових будинках. Такі процеси провокують розвиток цілого ряду екологічно небезпечних біологічних та фізико-хімічних явищ: активного розмноження кровососних комах, появи аскоміцетів, утворення отруйних випарів у повітрі, що шкідливо позначається на здоров'ї населення і спричиняє значні матеріальні збитки. Забезпечення екологічної безпеки територій, що зазнають підтоплення, шляхом попередження розвитку та ліквідації негативних наслідків цього процесу, є важливим завданням підтримання сталого розвитку міст. Для значної кількості міст України характерне систематичне підвищення середнього рівня ґрунтових вод (РГВ) на забудованих територіях та розширення ділянок підтоплення. У 2017 році площа підтоплення становила 89,062 тис. км<sup>2</sup> (8,9 млн га), а кількість підтоплених населених пунктів складала 4747. Цей список починають великі міста України.

На теперішній час залишаються актуальними завдання комплексної оцінки техногенного впливу великих міст на РГВ та прогнозування його зміни, враховуючи натурні дослідження та розроблення математичних моделей для підвищення рівня екологічної безпеки урбанізованих територій, що зазнають підтоплення.

Аналіз наукових досліджень показав, що у великих містах України насамперед відсутня необхідна моніторингова система контролю за режимом ґрунтових вод, спричинена економічними труднощами, тому оцінка та прогнозування розвитку процесу підтоплення останніх років на цих територіях значно ускладнюється. Методи та методики прогнозу підтоплення міських територій потребують розробки моделей, що враховують такі комплексні техногенні фактори, як: штучні покриття, які зменшують транспірацію через рослини, випаровування з ґрунтових вод та зміну водного балансу підземних вод під впливом додаткового живлення і водовідбору з ґрунтових вод. Таким чином, дослідження процесів та чинників зміни РГВ під час прогнозування максимального їх підняття, що дозволить кількісно оцінити ризик підтоплення, є актуальною науково-прикладною задачею у розрізі екологічної безпеки великих міст.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Результати дисертаційних досліджень відповідають завданням Державної програми «Розвитку українського села на період до 2015 року»; «Програми охорони навколишнього природного середовища м. Харкова на 2008 – 2012 рр.»; Загальнодержавної цільової програми «Питна вода України» на 2011 – 2020 рр.

Основні дослідження роботи проводили в рамках виконання плану науково-дослідних робіт кафедри інженерної екології міст Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова за тематикою «Екологічно сталий розвиток урбосистем в контексті європейської інтеграції України» згідно з

науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (державний реєстраційний номер 0117U000679), у якій автор брав участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи полягає у підвищенні рівня екологічної безпеки урбанізованих територій, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами.

Для досягнення зазначеної мети поставлено та вирішено такі завдання:

- оцінити величину додаткового живлення в ґрунтові води природно-техногенної геосистеми великого міста;
- дослідити фактичну зміну РГВ у великому місті за багаторічний період;
- розробити математичну модель зміни рівня ґрунтових вод в прямій та зворотній задачі, що враховує вплив штучних покриттів поверхні ґрунту і евапотранспірацію;
- спрогнозувати максимально високі РГВ для забудованих територій за допомогою розробленої моделі;
- для забезпечення екологічної безпеки автодоріг, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами, науково обґрунтувати параметри протифільтраційної завіси;
- науково обґрунтувати методологію управління РГВ та попередження підтоплення для підвищення рівня екологічної безпеки забудованих територій.

**Об'єкт дослідження** – зміни рівнів ґрунтових вод природно-техногенних геосистем великих міст (на прикладі м. Харків).

**Предмет дослідження** – комплекс заходів підвищення рівня екологічної безпеки забудованих територій, що зазнають підтоплення, спрямований на управління рівнем ґрунтових вод і боротьбу з підтопленням.

**Методи дослідження.** Дослідження проводились з використанням методів системного аналізу – для створення алгоритму моніторингу, завдань управління та прийняття рішень щодо попередження підтоплення, математичних методів (аналітичне розв'язання диференціальних рівнянь фільтрації із залученням комп'ютерної програми Maple) – для створення моделі зміни РГВ, методів еколого-економічної оцінки та порівняльного аналізу – для визначення вагомих факторів впливу на РГВ та впливу РГВ на довкілля, балансового методу – для оцінки змін РГВ, інструментальних методів (вимірювання РГВ в спеціально обладнаних і пристосованих для цього свердловинах проводились за допомогою рівнеміра ГРУ–100).

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- *уперше* визначені крайові умови, що враховують вплив штучних покриттів поверхні ґрунту і евапотранспірацію, для розробленої математичної моделі зміни рівня ґрунтових вод, яка дозволяє удосконалювати прогнози й управління рівнем ґрунтових вод забудованих територій;
- *уперше* для забезпечення екологічної безпеки автодоріг, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами, науково обґрунтовано параметри протифільтраційної завіси, що включають коефіцієнт фільтрації, довжину та глибину завіси;

– *удосконалено* теоретико- методологічні основи управління РГВ у проекті комплексних заходів з попередження розвитку підтоплення міських територій, шляхом запровадження алгоритму моніторингу РГВ, що враховує потенційні загрози підтоплення територій;

– *набули подальшого розвитку* методи оцінки максимальних РГВ врахуванням впливу додаткового живлення підземних вод, що дозволяють об'єктивно оцінити зміну рівнів та розвитку підтоплення шляхом моделювання зміни РГВ, які можуть бути основою для розроблення заходів боротьби з цим явищем.

**Практичне значення одержаних результатів.** На основі одержаних фактичних даних про РГВ в м. Харків з 2004 по 2017 рр. створено базу для прогнозу розвитку підтоплення в місті, розроблено рекомендації щодо впровадження практичних заходів з оптимізації статей водного балансу ґрунтових вод та напрямків використання дренажних вод, розроблено алгоритм дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях та Проект комплексу заходів з попередження розвитку підтоплення міської території великих міст з урахуванням європейського досвіду, що підвищить рівень екологічної безпеки урбанізованих територій, які зазнають підтоплення ґрунтовими водами.

Результати дисертаційної роботи використані у навчальному процесі на кафедрі «Механіка суцільних середовищ та опір матеріалів» Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» для студентів зі спеціальності «Комп'ютерні науки» (Довідка про впровадження від 26.09.2018 р.).

**Особистий внесок здобувача.** Наукові результати, які викладені в дисертації, отримані особисто автором, а саме: досліджено зміну РГВ за період з 2004 по 2017 рр. в м. Харків і виконано аналіз цих даних; розроблено математичну модель зміни РГВ на обмежених міських територіях, яка враховує вплив штучних покриттів поверхні ґрунту і евапотранспірацію. Виконано прогноз зміни РГВ урбанізованої території на прикладі м. Харкова на перспективу 50 років.

Розроблено теоретико-методологічні підходи до управління рівнем ґрунтових вод, що включають типову схему взаємодії органів управління та завдань попередження і ліквідації наслідків підтоплення, алгоритм дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях та Проект комплексу заходів з попередження розвитку підтоплення міської території великих міст з урахуванням європейського досвіду.

Вибір теми дисертаційної роботи, постановка завдань дослідження, обговорення одержаних результатів були проведені разом із науковим керівником – доктором геологічних наук, доцентом В. В. Яковлевим. Внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку праць за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертаційної роботи.** Основні результати роботи доповідалися на міжнародних конференціях і наукових семінарах: II International Water Forum Aqua Ukraine (м. Київ, 2004); VI International Youth Environmental Forum “Ecobaltica’2006” (St. Petersburg, Russia, 2006); 12<sup>th</sup> International Student Conference “Economics for Ecology” (Sumy, Ukraine, 2006); 6<sup>th</sup> International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment. Eco-Tech 2007 (Kalmar, Sweden,

2007); International Yourth Science Environmental Forum “Ecobaltica’2008” (St. Petersburg, Russia, 2008); 2-й Всеукраїнській студентській науково-технічній конференції «Сталий розвиток міст» (м. Харків, 2009); International Conference on Natural Sciences and Technologies. Linnaeus Eco–Tech’10 (Kalmar, Sweden 2010); XIX Міжнародній науковій конференції «Економіка для екології» (м. Суми, 2013); VII Міжнародній науково-технічній конференції молодих фахівців, аспірантів і студентів «Математичне та комп’ютерне моделювання природно-наукових і соціальних проблем» (Росія, м. Пенза, 2013); X Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові конвенції – 2014» (Praha, 2014); XXI Міжнародній науковій конференції «Економіка для екології» (м. Суми, 2015); XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 2015).

**Публікації.** За результатами дисертації опубліковано 23 наукові праці, зокрема 11 статей, з яких 7 статей – у наукових фахових виданнях із переліку МОН України, а з них 3 статті індексуються міжнародними наукометричними базами даних, 12 тез доповідей у матеріалах конференцій.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається із анотації, вступу, п’яти розділів, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг роботи становить 166 сторінок. Дисертаційна робота містить 63 рисунки та 6 таблиць за текстом. Список використаних джерел кількістю 111 найменувань – на 13 сторінках. Сім додатків розміщено на 15 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

У **вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету, об’єкт, предмет та задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дисертації, викладені основні положення дисертації, а також особистий внесок автора.

У **першому розділі** надано аналіз сучасного стану питання підвищення РГВ і підтоплення забудованих територій України. Досліджено масштаб явища підтоплення в Україні та у світі і визначено стан проблеми підтоплення в соціальному, екологічному та економічному аспектах життя. Обґрунтовані сучасні та майбутні екологічно небезпечні наслідки впливу цього явища на урбанізовані території України. У результаті підтоплення руйнуються матеріали підземних комунікацій, забруднюється увесь підземний простір міст, зокрема верхні горизонти підземних вод, з’являються болотисті ділянки і затоплені підземні приміщення в житлових будинках. Це призводить до розвитку цілої низки екологічно небезпечних біологічних та фізико-хімічних явищ: появи кровососних комах, розвитку цвілевих грибків, утворення отруйних випарів у повітрі, що шкідливо позначається на здоров’ї населення і спричиняє значні матеріальні збитки. Забезпечення екологічної безпеки територій, що зазнають підтоплення, шляхом попередження розвитку та ліквідації негативних наслідків цього процесу, є важливим завданням підтримання сталого розвитку міст.

Фактори, що впливають на розвиток підтоплення на міських територіях описані в роботах Абрамова С. К., Дегтярьова Б. М., Стрижельчика Г. Г., Шестопалова В.М., Яковлева Є. А. та інш. Розробкою нормативно-законодавчої бази щодо захисту від підтоплення займалися Разметаєв С. В., Чебанов А. Ю. та інш. Проведено аналіз існуючих досліджень та публікацій щодо математичних моделей та способів моделювання процесу зміни рівня ґрунтових вод. З'ясовано, що математичні моделі попередників Біляєва Н. Н., Муфтахова А. Ж., Полубарінової-Кочиної П. Я., Пшинько А. Н., Телими С. В., Цимбала В. А. та інших, на жаль, не враховують штучні покриття на поверхні ґрунту та дію евапотранспірації.

Не зважаючи на те, що об'єми водопостачання та відповідно втрат води у зв'язку зі зниженням потужностей виробництва на рубежі ХХ і ХХІ століть зменшилися, підтоплення у містах продовжує прогресувати. Існуючі заходи боротьби з підтопленням (попередження та ліквідація) міських територій в Україні та в світі не забезпечують очікуваного результату. Таким чином, нагальною потребою є підвищення рівня екологічної безпеки урбанізованих територій, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами, за рахунок наукового обґрунтування методів та засобів прогнозування розвитку підтоплення.

**У другому розділі** описані об'єкт та методи дослідження, методики проведення експериментів та оброблення одержаних результатів.

Об'єктом дослідження є зміни рівнів ґрунтових вод природно-техногенних геосистем великих міст (на прикладі м. Харків). Середній рівень ґрунтових вод для м. Харків дорівнює від 0,2 до 10 м, а для значної частини території – менше 2 м, що відповідає екологічно небезпечному підтопленому стану міської території. Для виявлення реальних змін РГВ, автором було проведено натурні дослідження зміни РГВ. Описано методи досліджень зміни РГВ забудованих територій, що проводились в спеціально обладнаних і пристосованих для цього свердловинах. Вимірювання РГВ проводились за допомогою рівнеміра ГРУ–100 з періодичністю 1 раз на місяць протягом 2004–2017 рр. Статистична обробка даних була виконана з визначенням максимальних, мінімальних та середніх значень рівнів, стандартних відхилень, коефіцієнтів варіацій по кожному ряду спостережень.

У роботі було проведено кількісне визначення впливу різних чинників на величину додаткового живлення ґрунтових вод у межах селітебних і промислових територій, яке здійснено на прикладі м. Харків, що прийнятий як мегаполіс, а окремі його території можуть розглядатись як типові для поширення результатів досліджень на інші міста з населенням близько 250 тис. Охарактеризовано природні і техногенні умови та обґрунтовано техногенні фактори, що призводять до підвищення РГВ. Враховувались такі техногенні джерела поповнення ґрунтових вод, як втрати з систем водопостачання та водовідведення міста, втрати з теплових мереж, що є ключовими чинниками додаткового живлення ґрунтових вод. Додаткове живлення становить не менше 50% від кількості води, яка постачається в м. Харків. Описано методику оптимізації статей водного балансу ґрунтових вод для забезпечення екологічної безпеки підтоплених територій великих міст, що включає методи ранжування факторів підтоплення за значимістю впливу. Описано методи математичного моделювання зміни РГВ урбанізованих територій. Використані



математичні методи (аналітичне розв'язання диференціальних рівнянь фільтрації із залученням комп'ютерної програми Maple) для математичного моделювання параметрів протифільтраційної завіси та зміни рівня ґрунтових вод забудованих територій. Описано методи математичного моделювання параметрів протифільтраційної завіси для захисту автодоріг від підтоплення.

У третьому розділі наведено результати досліджень зміни РГВ міської території на прикладі м. Харків за 2004–2017 рр.

З'ясовано, що більша частина мережі наглядових свердловин в м. Харків, яка створена в 80–ті роки для контролю РГВ, вийшла з ладу. Згідно офіційних джерел, водопостачання міста Харкова з мергельно-крейдянського водоносного горизонту та спостереження за рівнями підземних вод цього горизонту не відбувається. Розташування постів спостережень та точки контролю за РГВ, що розглядаються в роботі, надано на рис. 1. Точки А, Б, В – режимні водопункти державної спостережної мережі у м. Харків, і спеціальні спостережні пункти Українського головного виробничого НДІ інженерно-технічних та екологічних вишукувань (УкрНДІНТІЗ) для моніторингу зміни РГВ, в яких проводились вимірювання.

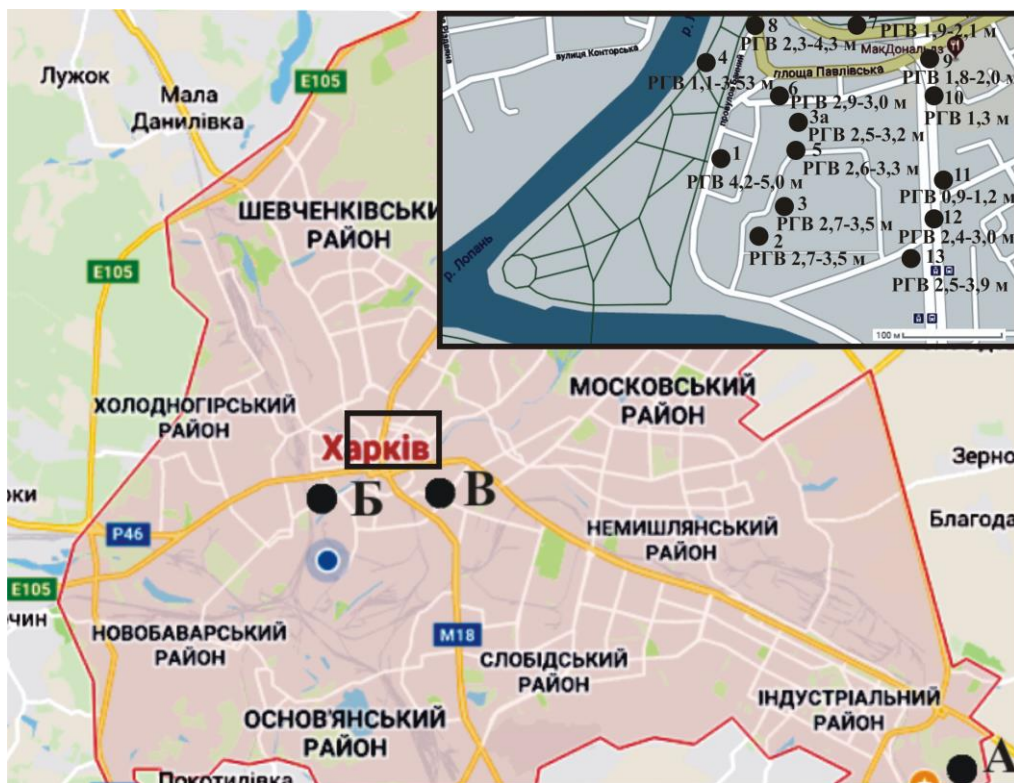


Рисунок 1 – Пункти спостереження за РГВ за період з 1965 по 2017 рр. (у прямокутнику винесено дані спостережень за РГВ УкрНДІНТІЗ)

Точки А, Б, В на ділянці, що розглядається, знаходяться посеред приватного сектору, де більша частина території незабудована та озеленена, що сприяє інтенсифікації процесу евапотранспірації. Зміна РГВ за багаторічний період в свердловинах на ТОВ «САН ІНБЕВ Україна» (точка А), на вул. Конторській (раніше Червоножовтнева, точка Б) та на вул. О. Невського (точка В) наведена на рис. 2, 3, 4 відповідно.



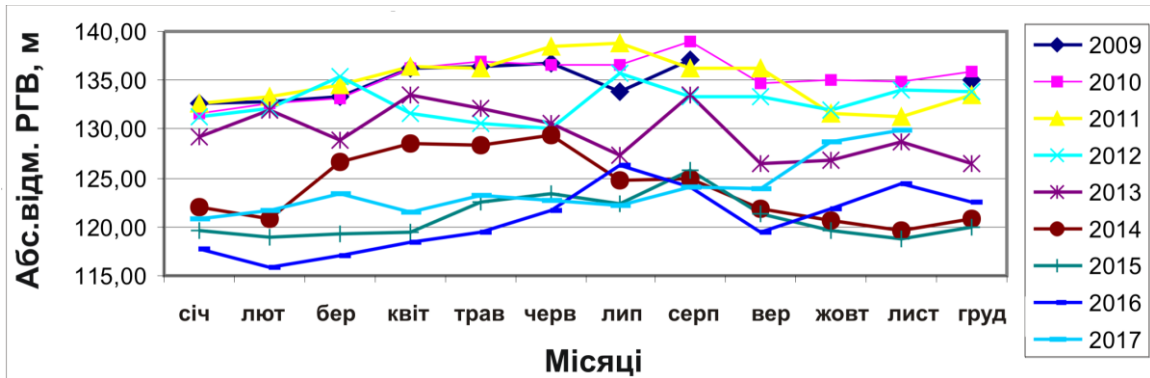


Рисунок 2 – Зміна РГВ в свердловині ТОВ «САН ІНБЕВ Україна» з 2009 по 2017 рр.

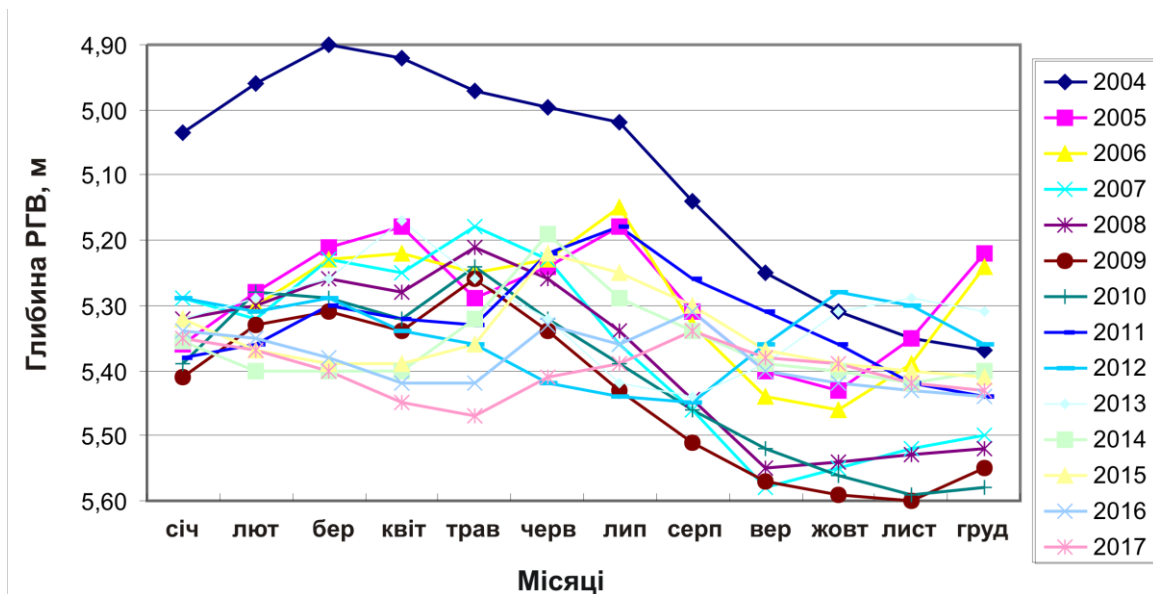


Рисунок 3 – Зміна РГВ в свердловині на вул. Конторській з 2004 по 2017 рр.

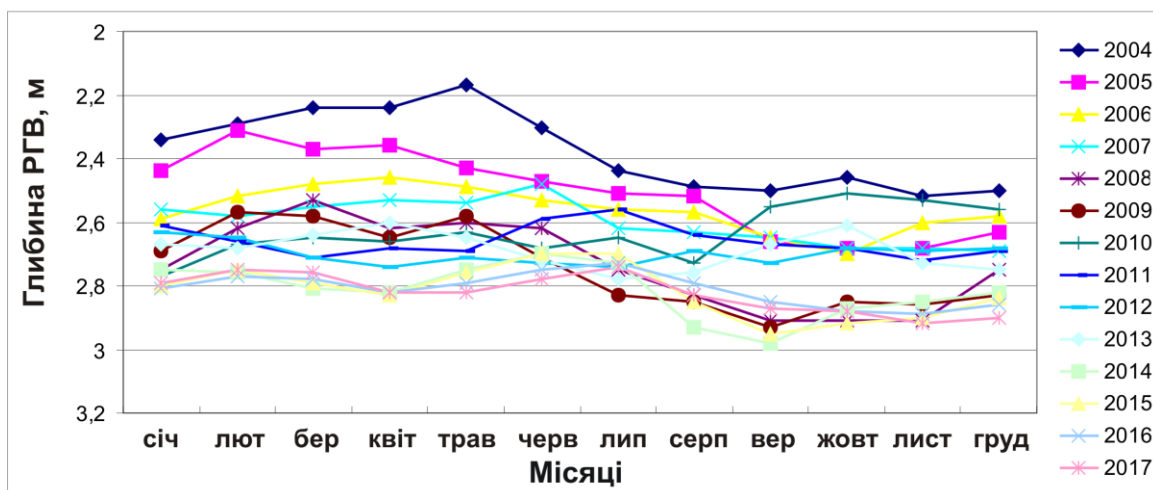


Рисунок 4 – Зміна РГВ в свердловині на вул. О. Невського з 2004 по 2017 рр.

Порівняння річних сумарних значень кількості опадів та середніх значень абсолютних відміток і глибини залягання РГВ в свердловинах на ТОВ «САН ІНБЕВ

Україна» (точка А), на вул. Конторській (точка Б) та на вул. О. Невського (точка В) представлено на рис. 5, 6, 7 відповідно.

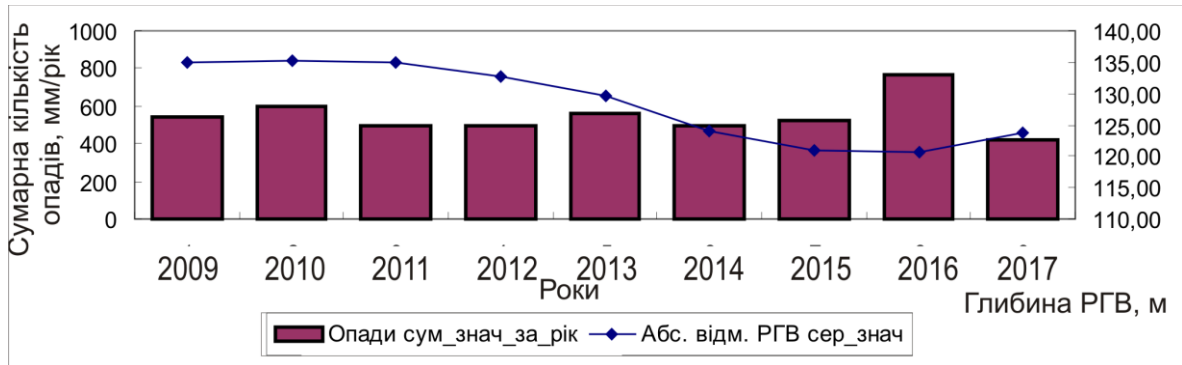


Рисунок 5 – Порівняння річних сумарних значень опадів та середніх значень абсолютних відміток в свердловині ТОВ «САН ІНБЕВ Україна» в період з 2009 по 2017 рр.

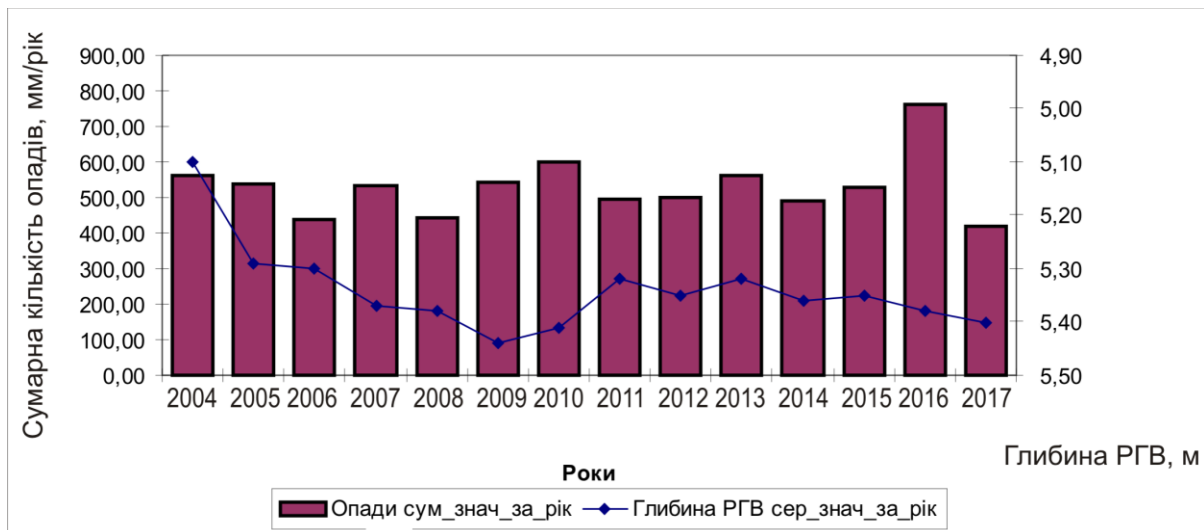


Рисунок 6 – Порівняння річних сумарних значень опадів та середньорічної глибини залягання РГВ в свердловині на вул. Конторській в період з 2004 по 2017 рр.

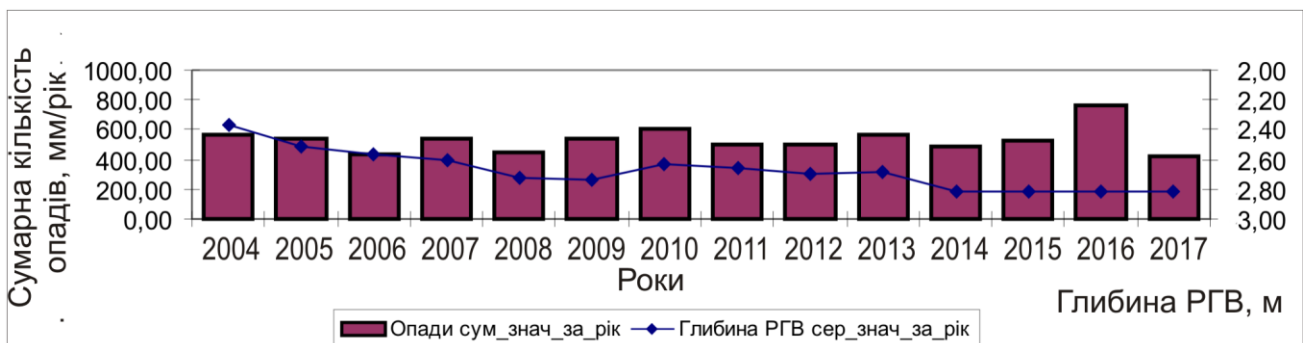


Рисунок 7 – Порівняння річних сумарних значень опадів та середньорічної глибини залягання РГВ в свердловині на вул. О. Невського в період з 2004 по 2017 рр.

Встановлено, що вплив опадів на рівень ґрунтових вод найбільш чітко проявляється з січня по вересень. У зимовий, весняний та літній періоди

техногенний вплив на РГВ маскується за рахунок масового танення снігу та випаровування відповідно. Незначне підвищення рівня ґрунтових вод, що спостерігалось в досліджуваних водопунктах в осінній період на тлі зниження кількості опадів, може мати техногенну природу – наприклад, може бути викликане втратами води з підземних комунікацій, або пов'язане зі зменшенням водовідбору. Експериментально встановлено, що в осінній період найменше проявляються природні фактори, отже цей сезон найоптимальніший для виявлення техногенного навантаження на рівень ґрунтових вод.

Таким чином, в цілому, наявні дані вказують, що в останнє десятиліття в Харкові спостерігається відносно сталий режим рівнів ґрунтових вод, зумовлений балансуванням з витратною статтею – евапотранспірацією, яка суттєво збільшується при наближенні РГВ до поверхні землі. Але сучасний рівень РГВ на великій частині території Харкова суттєво підвищений відносно природного, на що вказують літературні джерела. Для реального відображення природного процесу з додатковим живленням і впливом евапотранспірації з метою управління цим процесом у межах міст доцільно створити математичну модель зміни рівня ґрунтових вод з такими умовами.

**У четвертому розділі** на прикладі м. Харкова для прогнозування рівневого режиму ґрунтових вод при зміні водогосподарських умов, розроблено математичну модель, що враховує істотні статті балансу: інфільтрацію атмосферних вод, додаткове живлення в ґрунтові води, транспірацію, випаровування, евапотранспірацію і водовідбір з підземних вод. На основі рівняння Муфтахова А. Ж. було побудовано математичну модель, яка дозволила отримати розв'язок сформульованої задачі в замкнутому аналітичному вигляді (у вигляді рядів). Це дало можливість провести візуалізацію результатів і підтвердити попередньо отримані автором дані про вплив додаткового живлення на рівень ґрунтових вод з використанням традиційного інженерного підходу.

З метою створення математичної моделі обрано диференціальні рівняння для опису зміни РГВ та відповідні граничні умови.

При цьому прийняті такі припущення:

- зміна РГВ має усталений характер, про що свідчать дані багаторічних досліджень Геологічної партії в 3-х режимних водопунктах м. Харків;
- розглядаються ділянки з однорідними гідрогеологічними умовами вздовж одного з напрямків, що дозволяє використовувати рівняння плоскої фільтрації.

Для моделювання розглянуто рівняння фільтраційного напору у випадку плоскої фільтрації, яке може бути базовим для створення математичної моделі опису змін РГВ, якою можна врахувати фактори штучних покриттів та евапотранспірації.

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \gamma_i^2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

де  $h$  – рівень ґрунтових вод, м;  $x$ ,  $y$  – координати, показані на рис. 8;  $\gamma$  – коефіцієнт анізотропії. На території багатьох міст України значну площу займають штучні дорожні покриття і будови, що перешкоджають природним процесам інфільтрації атмосферних опадів, випаровування та транспірації. Тому при моделюванні зміни

рівня ґрунтових вод враховано існування таких ділянок території, що частково покриті штучними покриттями, де вплив природних і техногенних факторів буде відбуватися лише на незабудованій поверхні цієї ділянки.

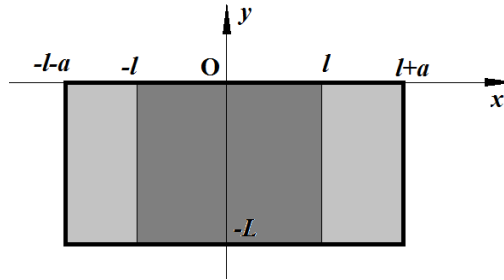


Рисунок 8 – Схема розрахункової області для визначення РГВ

Припустимо, що на ділянках  $[-l-a \div -l]$  та  $[l \div l+a]$  відбувається вплив природних і техногенних факторів на зміну рівня ґрунтових вод; в той час як на ділянках  $[-l \div 0]$  та  $[0 \div l]$  впливу на рівень ґрунтових вод не відбувається завдяки штучним покриттям (рис. 8). Тоді, враховуючи, що зовнішня нормаль на відрізку  $[-l \div l]$  при  $y = -L$  співпадає з протилежним напрямком осі Oy, маємо таку граничну умову, що характеризує наявність штучних покриттів:

$$\left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{-l \leq x \leq l, y = -L} = 0.$$

На ділянках  $[-l-a, -l]$  та  $[l, l+a]$  відбувається інфільтрація, водовідбір, транспірація і випаровування, тому маємо

$$-\left. \frac{\partial h}{\partial y} \right|_{l \leq x \leq l+a, y = -L} = f_1 + s_1 - g_1 - d_1 - k_1,$$

де  $f_1$  – додаткове живлення ґрунтових вод (прибуткова частина балансу ґрунтових вод);  $s_1$  – кількість опадів, яка інфільтрується в ґрунтові води (прибуткова частина балансу ґрунтових вод);  $g_1$  – інтенсивність транспірації (видаткова частина балансу ґрунтових вод);  $d_1$  – інтенсивність випаровування (видаткова частина балансу ґрунтових вод);  $k_1$  – водовідбір з ґрунтових вод (видаткова частина балансу ґрунтових вод). Аналогічну умову ставимо на ділянці  $[-l-a, -l]$  при  $y = -L$ , позначаючи відповідні параметри водного балансу з індексом 2. В подальшому використовуємо симетричну модель, тому вважаємо, що

$$f_1 = f_2; s_1 = s_2; g_1 = g_2; d_1 = d_2; k_1 = k_2.$$

Отримаємо

$$-\left. \frac{\partial h}{\partial x} \right|_{l \leq x \leq -l-a, y = -L} = f_2 + s_2 - g_2 - d_2 - k_2,$$

Оскільки зміна рівнів ґрунтових вод та їх розповсюдження є локальним, і моделювання проводиться для обмежених ділянок міської території (промислових об'єктів, будівель і т. ін.), з однорідними гідрогеологічними умовами, то можна прийняти, що боковий приплив і відтік рівні між собою, тому

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=l+a} = e_1(y) \\ \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=-l-a} = e_1(y) \end{cases}, \quad e_1(y) = \frac{2}{1+(y/y_{50})^\tau}, \quad (2)$$

де  $\tau$  – відносна мінливість потенційної транспірації;  $y_{50}$  – параметр, що характеризує висоту капілярного всмоктування води;  $y$  – глибина, де відбувається тиск вологи, який всмоктує. У розрахунках прийнято значення  $\tau = 2,2$ . У подальших розрахунках прийнято, що  $y_{50} = 3$ , тобто вважалось, що  $L = 6$  м. Якщо евапотранспірація не враховувалась, то значення  $L$  обговорюється окремо. Початковий рівень приймається за точку відліку,  $h=0$ .

$$h \Big|_{y=0} = 0.$$

Таким чином, сформульовано таку крайову задачу для визначення невідомої функції  $h(x, y)$ . Знаходимо розв'язок диференціального рівняння

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \gamma_i^2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0$$

при таких крайових умовах:

$$\frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{-l \leq x \leq l, y = -L} = 0, \quad (3)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial y} \Big|_{l \leq x \leq l+a, y = -L} = f_1 + s_1 - g_1 - d_1 - k_1, \quad (4)$$

$$-\frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{l \leq x \leq -l-a, y = -L} = f_2 + s_2 - g_2 - d_2 - k_2, \quad (5)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=l+a} = e_1(y) \\ \frac{\partial h}{\partial x} \Big|_{x=-l-a} = e_1(y) \end{cases}, \quad (6)$$

де функція  $e_1(y) = \frac{2}{1+(y/y_{50})^\tau}$  визначена в (4.2). Зауважимо, що неможливо

побудувати одну систему базисних функцій для цієї крайової задачі з неоднорідними крайовими умовами на трьох межах. Тому в роботі запропоновано шукати невідому функцію  $h(x, y)$  у вигляді суми двох доданків

$$h(x, y) = h_1(x, y) + h_2(x, y).$$

Кожній функції  $h_i(x, y)$ ,  $i = 1, 2$  відповідає своя крайова задача, при чому в кожній з цих задач наявні однорідні граничні умови, що дає змогу побудувати системи незалежних базисних функцій. Такий засіб не лише дозволяє побудувати розв'язок сформульованої крайової задачі (1), (3) – (6), що враховує наявність штучних покриттів, інфільтрацію, випаровування та транспірацію, а також ефект евапотранспірації, але й дослідити окремо вплив штучних покриттів та ефект

евапотранспірації. Так, крайова задача для функції  $h_1(x, y)$  описує наявність штучних покриттів, інфільтрацію, випаровування та транспірацію, але не враховує ефект евапотранспірації в залежності від глибини. Цю задачу сформулюємо наступним чином:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial^2 h_1}{\partial x^2} + \gamma^2 \frac{\partial^2 h_1}{\partial y^2} = 0, \\ h_1 \Big|_{y=0} = 0, \\ \frac{\partial h_1}{\partial y} \Big|_{-l \leq x \leq l, y = -L} = 0, \\ -\frac{\partial h_1}{\partial y} \Big|_{-l-a \leq x < -l, y = -L} = f_1 + s_1 - k_1, \\ -\frac{\partial h_1}{\partial y} \Big|_{l < x \leq l+a, y = -L} = f_1 + s_1 - k_1, \\ \frac{\partial h_1}{\partial x} \Big|_{x=\pm(l+a)} = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

де  $f_1$  – додаткове живлення ґрунтових вод (прибуткова частина балансу ґрунтових вод);  $s_1$  – кількість опадів, яка інфільтрується в ґрунтові води (прибуткова частина балансу ґрунтових вод);  $k_1$  – водовідбір з ґрунтових вод (видаткова частина балансу ґрунтових вод).

Математична модель працює від будь-якої величини початкового РГВ. Отримано значення зміни РГВ при незмінній евапотранспірації, що візуалізовано розрахунками для обмежених ділянок території м. Харків на рис. 9, де зображена функція  $h_1(x, y)$ . Отримані також значення зміни РГВ при змінній евапотранспірації, які зображені на рис. 10.

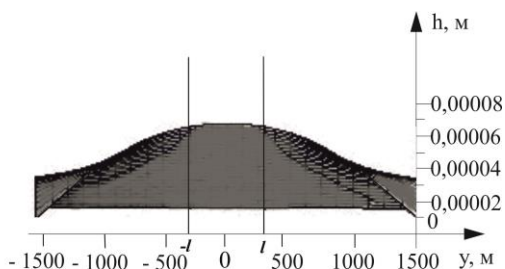


Рисунок 9 – Середньодобова зміна РГВ за профілем моделі, без урахування дії евапотранспірації

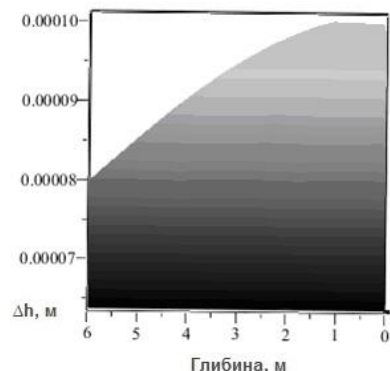


Рисунок 10 – зміна РГВ при змінній евапотранспірації

Розроблений прогноз максимально високих РГВ (рис. 9) міських територій на прикладі м. Харків без врахування дії евапотранспірації на перспективу 50 років

вказує, що на 1-й рік підйом рівня складе 0,03 м, а на 50-й рік – вже 1,5 м. З метою оптимізації водного балансу підземних вод для забезпечення екологічної безпеки підтоплених територій великого міста, було проведено балансування видаткових та прибуткових статей. Балансування відбувається при зниженні додаткового живлення в 2,4 рази, тобто додаткове живлення необхідно зменшити в середньому на 240 000 м<sup>3</sup>/добу, а також при збільшенні водовідбору з першого від поверхні водоносного горизонту в середньому в 15 разів, тобто при збільшенні водовідбору в межах м. Харків в середньому на 300 000 м<sup>3</sup>/добу. На збільшення водовідбору необхідно витратити 24 000 кВт·ч, що відповідає 48 тис. грн/доб. Оскільки якість ґрунтових вод у м. Харків невисока, розрахований об'єм води може бути використаний для технічних цілей або обводнення річок.

Також зроблено прогноз зміни РГВ із урахуванням дії евапотранспірації (рис. 10) на перспективу 50 років. Під штучними покриттями на 1-й рік підйом рівня складе 0,05 м, а на 50-й рік – вже 2,56 м. На території, вільній від штучних покриттів РГВ буде стабілізований дією евапотранспірації. Таким чином, поширення площі штучних покриттів по території міста сприятиме зниженню дії евапотранспірації і стійкому підвищенню РГВ та розвитку підтоплення.

Оцінка адекватності моделі проводитиметься на двох різних за ландшафтними умовами ділянках. Перша ділянка переважно розташована посеред приватного сектору, та має вільну від покриттів поверхню. Друга ділянка, практично повністю вкрита штучними покриттями. Порівняння моніторингових даних з прогнозованими щодо зміни РГВ наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Порівняння моніторингових даних з прогнозованими щодо зміни РГВ

№Точк и	Фактич на глибина РГВ	Абс. відм. устья, м	Рік досліджен ня, р.	Кількість років досліджен ня	Факти чна зміна РГВ, м	Зміна РГВ на моделі без врахування дії евапотранспіра ції, м	Зміна РГВ на моделі із врахуванням дії евапотранспіра ції, м
2	2,7-3,5	103,08	1978	38	1,4-2,2	2,08	1,25
10	1,3	103,4	2016				
1	4,2-5,0	99,7	1965	36	1,6-1,7	1,97	1,45
5	2,6-3,3	100,05	2001				
8	2,3-4,3	100,0- 102,32	1993	8	-0,6- 1,3*	0,44	-0,27-0,23
6	2,9-3,0	101,4	2001	13	-0,3*	Неможливо врахувати	-0,40*
А	5,10		2004				
		5,40		2017			
Б	2,37		2004	13	-0,45*	Неможливо врахувати	-0,45*
		2,82					

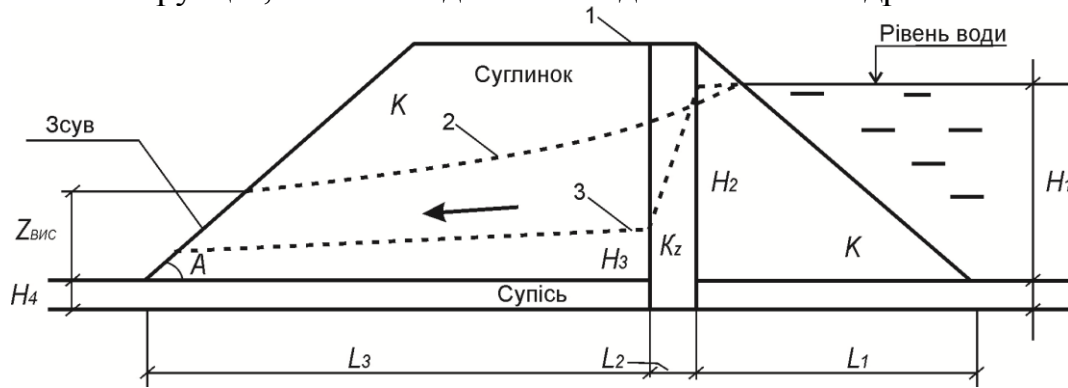
\* – РГВ знизився.

Порівняння результатів моделювання та даних натурних спостережень вказує на адекватність створеної моделі фактичним даним, що представлені у таблиці 1. Врахування дії евапотранспірації з глибиною дозволяє робити більш точний прогноз зміни РГВ. Тож, дія евапотранспірації стабілізує та знижує РГВ (точки А, Б). А на



територіях, вкритих штучними покриттями (точки 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10) дія евапотранспірації неможлива, тому відбувається підйом РГВ.

У п'ятому розділі розглянуто одну з найгостріших проблем забезпечення безпеки транспортного руху – захист дорожнього полотна від шкідливої дії ґрунтових вод. Запропоновано розташування протифільтраційної завіси (рис. 11) вздовж автошляху. Протифільтраційні завіси можуть влаштовуватися у вигляді як самостійних конструкцій, так і в поєднанні з водозниженням і дренажами.



1 – протифільтраційна завіса; 2 – крива депресії без завіси; 3 – те ж із завісою

Рисунок 11 – Схема поперечного перерізу ґрунтового насипу

Використані формули для послідовного розрахунку напорів на стінках завіси:

$$H_2 = \sqrt{\frac{H_4^2 + \frac{H_4^2 \cdot L_3}{L_1} \cdot \left(1 + \frac{K \cdot L_2}{K_z \cdot L_3}\right)}{1 + \frac{L_3}{L_1} \left(1 + \frac{K \cdot L_2}{K_z \cdot L_3}\right)}}; \quad (8)$$

$$H_3 = \sqrt{H_4^2 + \left(H_1^2 - H_2^2 \cdot \frac{L_3}{L_1}\right)}; \quad (9)$$

де  $H_2$  і  $H_3$ , – напори на стінках завіси, м;  $H_1$  і  $H_4$ , – напори без завіси, м;  $L_2$  – довжина завіси, м;  $L_1$ ,  $L_3$  – зона впливу дренажу, м,  $K_z$  – коефіцієнт фільтрації завіси,  $K$  – коефіцієнт фільтрації зони дренажу. Спочатку визначені  $H_2$ , а потім  $H_3$ . Далі знаходиться фільтраційна витрата за Дюпюї:

а) крізь завісу: 
$$Q_z = \frac{K_z \cdot (H_2^2 - H_3^2)}{2L_2}, \quad (10)$$

б) крізь насип без завіси: 
$$Q = \frac{K \cdot (H_1^2 - H_4^2)}{2(L_1 + L_2 + L_3)}, \quad (11)$$

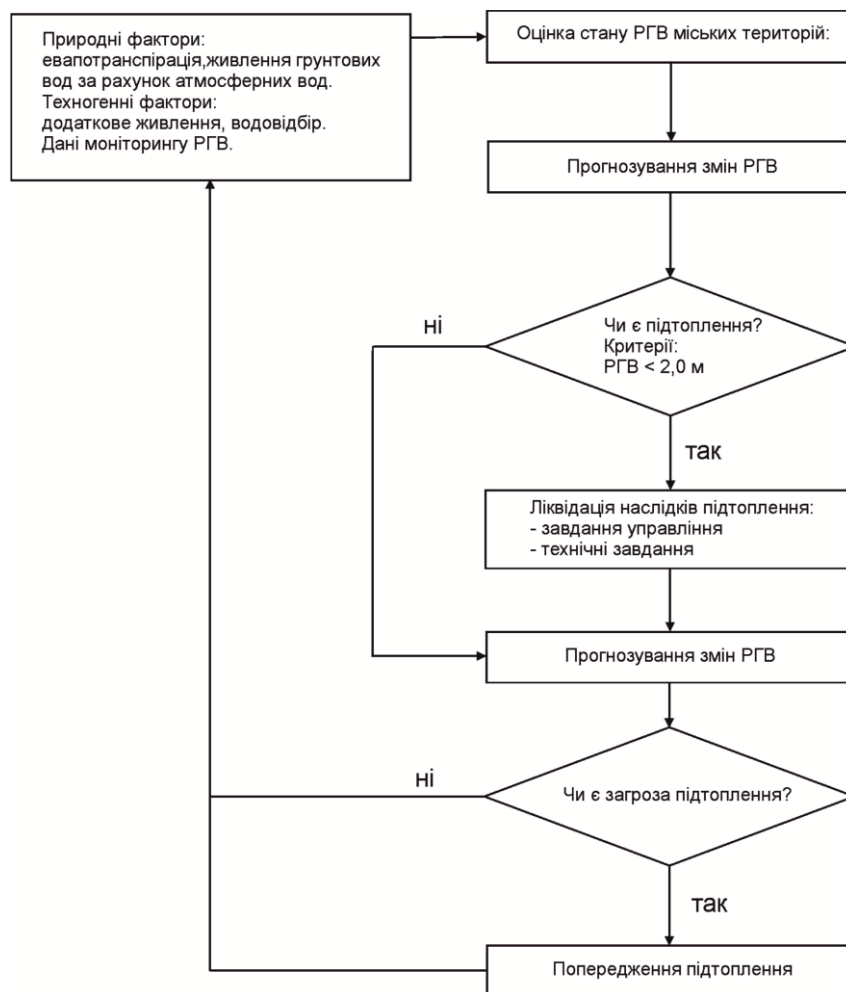
Таким чином, стаціонарну задачу визначення витрати води крізь протифільтраційну завісу розв'язано. Проведено математичне моделювання параметрів протифільтраційних завіс, яке дозволить ефективно використовувати протифільтраційні завіси в боротьбі з підтопленням.

З рівняння руху рідкого середовища Полубарінової-Кочиної, було отримано рівняння Дюпюї, яке використано для рішення стаціонарної задачі визначення витрати води крізь протифільтраційну завісу. Далі було розв'язано стаціонарну

задачу визначення витрати води крізь протифільтраційну завісу. Встановлено, що використання протифільтраційної завіси є ефективним навіть при таких параметрах:  $K_f \leq 0,7$  м/доб, при більшій довжині та меншому заглибленні самої завіси. Отримані розрахунки параметрів дозволять використовувати протифільтраційні завіси в проектах захисту автошляху від експлуатаційно та екологічно небезпечної дії ґрунтових вод.

На основі аналізу європейського та українського досвіду боротьби з підтопленням, та прогнозування зміни рівня ґрунтових вод на створеній моделі розроблено методологію управління рівнем ґрунтових вод, що включає:

- схему взаємодії органів управління та завдань попередження і ліквідації наслідків підтоплення;
- алгоритм дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях (рис. 12);
- проект комплексу заходів з попередження підтоплення, що сприятиме підвищенню екологічної безпеки урбанізованих територій, які схильні до підтоплення.



Гранична глибина рівня ґрунтових вод для територій міст згідно ДБН В.1.1 –25–2009 складає не менше 2,0 м і не менше 0,5 м від подошов фундаментів споруд.

Рисунок 12 – Алгоритм дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях

На відміну від інших, даний алгоритм дозволяє враховувати окрім підтоплених територій, території з ризиком підтоплення, що значно підвищує рівень екологічної безпеки об'єктів довкілля. Для задовільної роботи алгоритму дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях запропоновано вважати забудовану територію потенційно підтоплюваною в усіх випадках, коли прогнозований рівень підземних вод може перевищувати позначку підшови фундаменту протягом всього проектного терміну експлуатації будівлі. Також запропоновано створення в системі будівництва та розвитку міста Харкова власної спостережної мережі свердловин, що розміщується на ділянках нового будівництва. В умовах, щорічного збільшення кількості будівельних об'єктів, коли буряться нові свердловини, це більш реально, ніж відновлення розвалені спостережної мережі свердловин. Режимна мережа повинна дозволити відстежувати вплив дренажних систем, підземних споруд, комунікацій на режим підземних вод.

Проект комплексу заходів щодо забезпечення екологічної безпеки урбанізованих територій, які зазнають підтоплення ґрунтовими водами створений враховуючи Європейський досвід боротьби з підтопленням, а також існуючі умови для реалізації цих заходів в Україні на прикладі великого міста Харкова. Комплекс заходів з попередження підтоплення включає інженерні заходи, контроль та управління джерелами поповнення ґрунтових вод, контроль за водовідбором, переоцінку та зміну норм водоспоживання, створення прозорої та загальнодоступної бази даних, яка включатиме дані багаторічних досліджень кліматичних умов, дані за обсягами водопостачання, обсягами витоків з підземних комунікацій, ретроспективні дані, прогнозні дані щодо зміни РГВ, планування алгоритмів дій при аварійних ситуаціях та участь громадськості в проблемі підтоплення.

Пропонуються регіональний та басейновий підходи, що на відміну від інших дозволяють комплексно вирішувати проблему підтоплення. Запропоновано при проектуванні і будівництві прогноз зміни гідрогеологічних умов робити не тільки на площі земельної ділянки, відведеної під конкретний об'єкт, а й на всій зовнішній території, яка впливає на нього, а також на території, на яку буде впливати об'єкт, що проектується. Отже, площа аналізованої території повинна бути на порядок більше, ніж ділянка будівництва. Басейновий підхід передбачає врахування частини території, що відноситься до басейну річки і не залежить від адміністративних меж, що зумовлює обмін даними з сусідніми країнами й сприяє створенню комплексного підходу в оцінці зміни РГВ та поширення підтоплення.

Розроблено типову схему взаємодії органів управління та завдань попередження і ліквідації наслідків підтоплення, що дозволяє наглядно представити важливість і значимість управлінських попереджувальних заходів в боротьбі з підтопленням. Запропоновані заходи повинні бути інтегровані в процес планування й прийняття рішень щодо розвитку процесу підтоплення і боротьби з ним в м. Харків та інших містах країни та передбачають необхідність участі громадськості у вирішенні проблеми підтоплення, ефективну співпрацю між органами державної влади, екологічними організаціями, управлінням водних ресурсів та іншими зацікавленими сторонами.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання дисертаційної роботи, розв'язані важливі науково-практичні та екологічно значущі завдання прогнозування підтоплення міських територій і розробки заходів з контролю стану рівнів ґрунтових вод та попередження підтоплення, що дозволяє підвищити рівень екологічної безпеки у великих містах України. У процесі виконання дисертаційних досліджень, були отримані наступні наукові і прикладні результати:

1. Доведено, що при відсутності дренажів у великому місті в умовах значного додаткового живлення, що перевищує 50% від об'єму води, яка подається в місто, і наявності непроникних покриттів рівні ґрунтових вод зростають і суттєвим чинником їх стабілізації на підвищених позначках є евапотранспірація, зміну якої з глибиною необхідно враховувати при прогнозах змін рівнів ґрунтових вод.

2. Досліджено зміну РГВ у великому місті за період з 2004 по 2017 рр. на прикладі м. Харків, що дозволило отримати дані для створення адекватної математичної моделі цього процесу. Результати дослідження показали, що РГВ є практично незмінними на досліджуваних територіях завдяки евапотранспірації, що компенсує підвищення РГВ на незабудованих ділянках території великого міста.

3. Розроблено математичну модель зміни РГВ, з уперше визначеними крайовими умовами, що враховує вплив штучних покриттів поверхні ґрунту і евапотранспірацію.

4. Зроблено прогноз максимально високих РГВ на створеній моделі у великому місті на прикладі м. Харків, що запропонований, як підґрунтя для прийняття управлінських рішень щодо попередження і ліквідації підтоплення. За прогнозом, враховуючи несприятливі умови, в м. Харків в найближчі 50 років РГВ може підвищитись на 1,5 м.

5. Для забезпечення екологічної безпеки автодоріг, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами, уперше науково обґрунтовано параметри протифільтраційної завіси, що включають коефіцієнт фільтрації, довжину та глибину завіси.

6. Удосконалено теоретико-методологічні основи управління РГВ в проекті комплексних заходів з попередження розвитку підтоплення міських територій, що включають типову схему взаємодії органів управління та завдань попередження і ліквідації наслідків підтоплення, алгоритм дій у ході проведення моніторингу за РГВ на підтоплених і потенційно підтоплених територіях та Проект комплексу заходів з попередження розвитку підтоплення міської території великих міст України з урахуванням європейського досвіду.

## СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Наукові праці, в яких опубліковані наукові результати дисертації*

1. Серикова Е. Н., Яковлев В. В. Дополнительная инфильтрация в подземные воды на территории крупных городов (на примере г. Харькова). *Научно-технический сборник «Коммунальное хозяйство городов»*. 2011. № 97. С. 344–348.

*Здобувач оцінив вплив додаткової інфільтрації на підйом РГВ і їх якісний склад.*

2. Серикова Е. Н., Яковлев В. В. Роль управленческих методов в предотвращении подтопления городов. *Научный вестник строительства*. 2012. № 68. С. 382–387.

*Здобувач обґрунтував можливість застосування організаційних та управлінських заходів щодо зменшення втрат води та підвищення культури водокористування на забудованих територіях.*

3. Серикова Е. Н. Математическое моделирование повышения уровня грунтовых вод под воздействием дополнительной инфильтрации. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2012. № 6/4. С. 26–33.

*Здобувач розробив математичну модель зміни РГВ під впливом додаткової інфільтрації.*

4. Серикова Е. Н., Стрельникова Е. А. Изучение особенностей изменения уровня грунтовых вод с помощью математического моделирования. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 2013. № 3/4. С. 31–35.

*Здобувач розробив математичну модель, яка враховує додаткову інфільтрацію в ґрунтові води, кількість опадів, що інфільтруються в ґрунтові води, транспірацію, випаровування та водовідбір з підземних вод.*

5. Серикова Е. Н., Стрельникова Е. А., Яковлев В. В. Математическое моделирование изменения уровней грунтовых вод в городах с учетом ведущих режимобразующих факторов. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2014. № 4 (51). С. 182–191.

*Здобувач визначив величину зміни РГВ під впливом техногенних факторів і вирішив завдання оптимізації статей водного балансу ґрунтових вод.*

6. Серікова О. М., Стрельнікова О. О., Яковлев В. В. Додаткове живлення підземних вод у великих містах України на прикладі міста Харкова. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. 2016. № 130. С. 13–18.

*Здобувач дослідив причини інтенсивного розвитку підтоплення у великих містах України та визначив яким чином розвиток міст впливає на режим підземних вод.*

7. Серикова Е. Н., Стрельникова Е. А. Изменение уровня грунтовых вод в городской экосистеме г. Харькова. *Вісник НТУ «ХПИ»*. 2016. № 4 (1176). С. 132–137.

*Здобувач зібрав та проаналізував об'єктивні дані про рівні ґрунтових вод за останні 10 років в м. Харків для об'єктивного прогнозу розвитку процесу підтоплення у місті.*

8. Serikova E., Strelnikova E., Yakovlev V. Mathematical Model of Dangerous Changing the Groundwater Level in Ukrainian Industrial Cities. *Journal of Environment Protection and Sustainable Development*. 2015. Vol. 1, № 2. P. 86–90.

*Здобувач виконав прогнозування зміни рівня ґрунтових вод для м. Харків.*

9. Serikova E., Strelnikova E., Yakovlev V. The Programme of Measures to Prevent Flooding on the Built-up Areas on Example of Kharkiv City. *International Journal of Development Research*. 2015. Vol. 5, Issue 12. P. 6236–6240.

*Здобувач розробив превентивні заходи для стабілізації рівня ґрунтових вод великих міст України із залученням Європейського досвіду в боротьбі з підтопленням.*

10. Серикова Е. Н., Стрельникова Е. А., Яковлев В. В., Анищенко Л. Я., Писня Л. А. Оценка адекватности предлагаемой математической модели прогноза на фактических данных мониторинга уровня грунтовых вод в центральной части г. Харькова. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2017. № 11 (40). С. 43–47.

*Здобувач оцінив адекватність математичної моделі на фактичних даних моніторингу рівня ґрунтових вод, що визначила тісний кореляційний зв'язок розрахункових та реальних моніторингових значень рівнів ґрунтових вод.*

11. Серикова Е. Н., Свиренко Л. П. Снижение норм водопотребления как фактор энергосбережения. *Всеукраинский научно-технический журнал "Энергосбережение"*. 2010. № 3. С. 31–32.

*Здобувач провів пілотні соціологічні дослідження по виявленню реальних обсягів споживання води мешканцями міста Харкова.*

### ***Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації***

12. Серикова Е. Н., Свиренко Л. П. Снижение норм водопотребления в г. Харькове: перспективы и оценка последствий. *II International Water Forum Aqua Ukraine*. (Киев, 21–23 сентября 2004). Киев, 2004. С. 315–316.

13. Serikova O., Chaliy D. Environmental and Economic Aspects of Water Metering Implementation (Kharkiv Region). *12<sup>th</sup> International Student Conference "Economics for Ecology"*. (Sumy, 3–7 May 2006). Sumy, Ukraine, 2006. P. 177–178.

14. Serikova O. Svirenko L. Changeover to European Standards of Portable Water Consumption as a Factor of Power Saving. *Proceedings of VI International Yourth Environmental Forum "Ecobaltica`2006"*. (St. Petersburg, 27–29 June 2006). St. Petersburg, Russia, 2006. P. 169–170.

15. Sierikova O., Yakovlev V. Quality Indexes of Ground Water at Zmiev District of Kharkiv Region. *Proceedings of 6<sup>th</sup> International Conference on Technologies for Waste and Wastewater Treatment. Eco-Tech 2007*. (Kalmar, 26–28 November). Kalmar, Sweden, 2007. P. 449–455.

16. Sierikova O., Yakovlev V. Water Supply Crisis and Reservation of Drinking Water: a Tactical and Strategic Approach. *Proceedings of International Yourth Science Environmental Forum "Ecobaltica`2008"*. (St. Petersburg, 26–28 June 2008) St. Petersburg, Russia, 2008. P. 285–289.

17. Серикова Е. Н., Свиренко Л.П. Прогноз изменения уровня грунтовых вод на городских территориях на основе ретроспективного анализа ландшафтных

умовий. *Матеріали 2й всеукраїнської студентської науково-технічної конференції «Устойчивое развитие городов»*. (Харьков, 12–14 мая 2009 г.). Ч.2. Харьков, 2009. С. 138–139.

18. Sierikova O., Yakovev V. Additional infiltration to underground waters of big cities territory (on example Kharkiv region). *Proceedings of International Conference on Natural Sciences and Technologies. Linnaeus ECO-TECH'10*. (Kalmar, 22–24 November 2010). Kalmar, Sweden, 2010. P. 693–695.

19. Sierikova O., Yakovlev V. Using a Mathematical Model to Evaluate the Economic and Environmental Damage Caused by the Flooding. *Матеріали XIX Міжнародної наукової конференції «Економіка для екології»*. (Суми, 30 квітня – 3 травня 2013 р.). Суми, 2013. С.164–166.

20. Серикова Е. Н. Математическое моделирование повышения уровня грунтовых вод под воздействием дополнительной инфильтрации. *Сборник статей VII Международной научно-технической конференции молодых специалистов, аспирантов и студентов «Математическое и компьютерное моделирование естественно-научных и социальных проблем»* (Пенза, 28–31 мая 2013 г.). Россия, г. Пенза, 2013. С. 199–202.

21. Серикова Е. Н., Яковлев В. В. Использование математического моделирования для оптимизации баланса подземных вод. *Materiály X mezinárodní vědecko-praktická konference «Moderní vymoženosti vědy – 2014»*. (Praha, 27.01. – 05.02.2014). Díl 30. Praha, 2014. P. 18–20.

22. Serikova E., Strelnikova E. Critical Changing Groundwater Level in Ukrainian Industrial Cities. *Матеріали XXI Міжнародної наукової конференції «Економіка для екології»*. (Суми, 6–7 травня 2015 р.). Суми, 2015. С. 87–90.

23. Серикова Е. Н., Стрельникова Е. А. Математическое моделирование изменения уровня грунтовых вод под воздействием техногенных факторов городской среды *Збірник тез доповідей XIII міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми екологічної безпеки»*. (Кременчук, 6–7 жовтня 2015 р.). м. Кременчук, 2015. С. 58.

## АНОТАЦІЯ

**Серикова О.М. Прогнозування і управління рівнем ґрунтових вод для підвищення екологічної безпеки забудованих територій України.** – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. Сумський державний університет Міністерства освіти і науки України, Суми, 2019. Спеціалізована вчена рада Д 55.051.04.

Дисертація присвячена підвищенню рівня екологічної безпеки урбанізованих територій, що зазнають підтоплення ґрунтовими водами, за рахунок наукового обґрунтування методів та засобів прогнозування та управління підтопленням.



Підтоплення територій не тільки негативно впливає на життєдіяльність населення, а і може привести до виникнення екологічних катастроф та значних матеріальних збитків.

Вперше розроблено крайові умови математичної моделі зміни рівня ґрунтових вод, що враховують вплив штучних покриттів поверхні ґрунту і евапотранспірацію для вдосконалення прогнозів та управління рівнем ґрунтових вод забудованих територій. Зроблений прогноз максимально високого рівня ґрунтових вод в умовах природно-техногенних геосистем великих міст на прикладі Харкова. Для підвищення рівня екологічної безпеки міст України, обґрунтовано заходи оптимізації водного балансу ґрунтових вод шляхом регулювання основних режимоутворюючих факторів: зменшення втрат з водних комунікацій; збільшення водовідбору з водоносних горизонтів, гідравлічно зв'язаних з ґрунтовими водами; штучного відтоку ґрунтових вод за рахунок дренажів, що створюються при новому будівництві.

Науково обґрунтовано та експериментально встановлено період з найменшим проявом природних факторів для виявлення величини техногенного додаткового живлення ґрунтових вод.

Запропоновано інженерний захід для захисту дорожнього полотна автодоріг від шкідливої дії ґрунтових вод, що передбачає встановлення протифільтраційної завіси вздовж автошляху.

Удосконалено теоретико-методологічні підходи до управління рівнем ґрунтових вод, що включають типову схему функцій органів управління та завдань попередження і ліквідації наслідків підтоплення, алгоритм дій у ході моніторингу за рівнем ґрунтових вод на підтоплених і потенційно підтоплених територіях та Проект комплексу заходів з попередження розвитку підтоплення міської території великих міст України з урахуванням європейського досвіду.

**Ключові слова:** екологічна безпека, техногенний вплив, рівень ґрунтових вод, підтоплення, додаткове живлення, математичне моделювання зміни рівня ґрунтових вод, прогнозування зміни рівня ґрунтових вод, протифільтраційна завіса.

## АННОТАЦІЯ

***Серикова Е.Н.* Прогнозирование и управление уровнем грунтовых вод для повышения экологической безопасности застроенных территорий Украины. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. Сумский государственный университет Министерства образования и науки Украины, Сумы, 2019. Специализированный ученый совет Д 55.051.04.

Диссертация посвящена повышению уровня экологической безопасности урбанизированных территорий, испытывающих подтопление грунтовыми водами, за счет научного обоснования методов и средств прогнозирования и управления подтоплением.

Подтопление территорий не только негативно влияет на жизнедеятельность населения, но и может привести к возникновению экологических катастроф и значительному материальному ущербу.

Впервые разработаны краевые условия математической модели изменения уровня грунтовых вод, учитывающие влияние искусственных покрытий поверхности почвы и эвапотранспирации для совершенствования прогнозов и управления уровнем грунтовых вод застроенных территорий. Сделан прогноз максимально высокого уровня грунтовых вод в условиях природно-техногенных геосистем крупных городов на примере Харькова. Для повышения уровня экологической безопасности городов Украины обоснованы мероприятия оптимизации водного баланса грунтовых вод путем регулирования основных режимообразующих факторов: уменьшение потерь из водных коммуникаций; увеличение водоотбора из водоносных горизонтов, гидравлически связанных с грунтовыми водами; искусственного оттока грунтовых вод за счет дренажей, создаваемых при новом строительстве.

Научно обоснован и экспериментально установлен период с наименьшим проявлением природных факторов для выявления величины техногенного дополнительного питания грунтовых вод.

Предложено инженерное мероприятие для защиты дорожного полотна от вредного воздействия грунтовых вод, предусматривающее установку противofильтрационных завес вдоль автодорог.

Усовершенствованы теоретико-методологические подходы к управлению уровнем грунтовых вод, включающие типовую схему функций органов управления и задач предупреждения и ликвидации последствий подтопления, алгоритм действий в ходе мониторинга за уровнем грунтовых вод на подтопленных и потенциально подтапливаемых территориях и Проект комплекса мероприятий по предупреждению развития подтопления городской территории крупных городов Украины с учетом европейского опыта.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, техногенное воздействие, уровень грунтовых вод, подтопление, дополнительное питание, математическое моделирование изменения уровня грунтовых вод, прогнозирование изменения уровня грунтовых вод, противofильтрационная завеса.

## ABSTRACT

**Sierikova O.M. The groundwater level forecasting and management for increasing the ecological safety of the built up territories of Ukraine.** – Qualifying scientific work on the manuscript right.

Thesis for the academic degree of the Candidate of Engineering Science in specialty 21.06.01 – ecological safety. Sumy State University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Sumy, 2019. Specialized Academic Council D 55.051.04.

Thesis treats the environmental safety improving of urban territories flooded by groundwater through the scientific substantiation of methods and technics of flood forecasting and management.

Flooding of the territories not only negatively affects the population vital activity. It also could lead to environmental disasters and significant material damage.

For the first time, the boundary conditions of the groundwater level changing mathematical model have been developed. Mathematical model takes into account artificial coverings on the soil surface and groundwater discharge processes due to evapotranspiration to improve predictions and management of groundwater level on the built-up areas. The forecast of maximum groundwater level rise variant in natural and technogenic geosystems conditions of large cities has been developed on the Kharkiv city example. Measures to optimize the water balance of the groundwater by taking into account the technogenic factors affecting groundwater have been proposed. There are reducing losses from water communications; increase of water intake from aquifers hydraulically bound to groundwater; an artificial outflow of groundwater by the drainage expense created during the new building in the water balance optimization strategy.

Scientifically has been grounded and experimentally established a period with the smallest natural factors manifestation for the value detection of technogenic additional groundwater replenishment.

The engineering measure has been proposed for the roadbed protection from the groundwater harmful effects, which involves the installation of the anti-filtration curtain along the highway.

The flood prevention system has been developed and specified, includes typical scheme of the management functions and tasks for preventing and mitigating the flooding consequences, the actions algorithm during groundwater levels monitoring in flooded and potentially flooded areas, and the Project of measures set to prevent the flooding of urban areas in large cities of Ukraine on the basis of European experience.

**Keywords:** environmental safety, technogenic influence, groundwater level, flooding, additional groundwater replenishment, mathematical modeling of groundwater level changing, groundwater level changing prediction, anti -filtration curtain.

Підписано до друку 25.02.2019.  
Формат 60x90/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.