

ВІДГУК
офіційного опонента на дисертацію
Іванова Дениса Валерійовича
«Геоінформаційна технологія прогнозування та оцінки затоплення
територій при надзвичайних ситуаціях»,
поданої до спеціалізованої вченої ради на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук за спеціальністю
05.13.06 – Інформаційні технології

Актуальність теми дослідження. Затоплення територій є наслідком комплексної взаємодії природних (метеорологічних, гідрологічних) та антропогенних чинників. Незалежно від їхнього генезису, затоплення супроводжується значними негативними наслідками, зокрема руйнуванням будівельних конструкцій, транспортної та інженерної інфраструктури, деградацією сільськогосподарських угідь і погіршенням екологічного стану територій. Одним із ключових факторів трансформації ландшафтної структури є інтенсивна урбанізація, яка чинить суттєвий вплив на гідрологічний режим територій. Ця тенденція є особливо вираженою у сучасних мегаполісах і міських агломераціях, де спостерігається зростаючий дефіцит земельних ресурсів та підвищення антропогенного навантаження на природні екосистеми. Урбанізаційні процеси зумовлюють розширення площі поверхонь із низькою водопроникністю (асфальтовані та бетоновані покриття), що призводить до зменшення інфільтраційної здатності ґрунтів і підвищення ризику водозбору під час інтенсивних опадів або сезонного сніготанення. Додатковим фактором посилення ризику затоплення є деградація природних гідрологічних буферів, зокрема вирубка лісових масивів, руйнування водно-болотних угідь і скорочення територій із високою акумуляційною здатністю. Зменшення цих природних регуляторів стоку сприяє прискореному відведенню значних обсягів води, що, своєю чергою, спричиняє швидке заповнення низинних і урбанізованих територій водними масами, збільшуючи ймовірність їхнього затоплення. У цьому контексті актуальним завданням є впровадження інноваційних методів оцінювання та просторового аналізу зон затоплення територій. Своєчасне і високоточне визначення цих зон є критично важливим для мінімізації людських втрат, захисту об'єктів критичної інфраструктури, а також зниження екологічних та економічних збитків. Отримання інформації про об'єкти та природні явища, які неможливо безпосередньо зафіксувати у польових умовах, є ключовим компонентом у системі управління ризиками затоплення, особливо за умов надзвичайних ситуацій, зокрема в умовах військових конфліктів. Одним із найважливіших інформаційних ресурсів у

цьому напрямку є створення спеціалізованих карт затоплення, що містять комплексні дані для тактичного та стратегічного планування заходів реагування. Для їхньої розробки широко застосовуються методи дистанційного зондування Землі, зокрема аналіз супутникових знімків, які забезпечують оперативне отримання високоточних просторових даних про динаміку затоплення, характеристики рельєфу та зони підвищеного ризику. Інтеграція цих даних у геоінформаційні системи сприяє підвищенню ефективності прогнозування та управління гідрологічними загрозами.

Проте існуючі методи та технології потребують подальшої оптимізації, оскільки в умовах оперативного моделювання вони часто не забезпечують достатнього рівня точності для прогнозування та оцінки затоплення територій у реальному часі. Існуючі геоінформаційні технології мають обмежену здатність до інтеграції даних про антропогенне навантаження на водні об'єкти, що призводить до значних похибок у прогнозних розрахунках динаміки водного балансу, просторового картографування гідрографічної мережі та параметризації характеристик затоплених територій у режимі реального часу. Отже, питання прогнозування та оцінки затоплення територій у контексті надзвичайних ситуацій залишається надзвичайно актуальним і потребує подальших науково-технічних розробок. Інтеграція різночасових супутникових знімків із сучасними геоінформаційними технологіями та методами машинного навчання створить можливості для розробки високоточних моделей прогнозування та оцінки затоплень, що в свою чергу дозволить значно підвищити ефективність систем моніторингу водних ресурсів у умовах надзвичайних ситуацій.

Такий стан теорії та практики при вирішенні зазначених задач визначає актуальність дисертаційної роботи Д.В. Іванова, пов'язаної з розробкою нових методів, автоматизованих геоінформаційних технологій прогнозування та оцінки затоплення територій при надзвичайних ситуаціях.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій. Основні теоретичні положення дисертації одержані шляхом коректного застосування методів, геоінформаційних технологій автоматизованої обробки та інтерпретації супутникових даних; розпізнавання та дешифрування супутникових зображень; напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж; хмарних сервісів. Відповідність та обґрунтованість результатів досліджень підтверджуються граничними переходами до відомих окремих випадків, одержаних в рамках інших теоретичних підходів; апробацією методів та геоінформаційної технології на тестових прикладах, зіставленням отриманих результатів з еталонними;

достатньою збіжністю аналітичних та експериментальних досліджень; впровадженню результатів досліджень; достатньою кількістю публікацій у виданнях, що входять до переліку фахових видань з технічних наук в Україні та у виданнях, що індексується у НМБД Scopus; виступами на наукових міжнародних конференціях.

Все це свідчить про високий ступінь достовірності та обґрунтованості результатів дисертації.

Структура, обсяг роботи. Дисертаційна робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків, у які винесені, зокрема, документи, що підтверджують впровадження результатів роботи. Загальний обсяг дисертації становить 215 сторінок, містить 182 сторінки основної частини, включає 51 рисуноків, 6 таблиць, 142 літературних джерел.

Характеристика роботи, новизна розроблених наукових положень.

У вступі автором обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, сформульована мета і завдання досліджень. Наведено відомості про наукову новизну і практичне значення одержаних результатів. Вказано кількість публікацій за тематикою дисертаційної роботи. Зазначено особистий внесок здобувача.

В першому розділі дисертації автором здійснено аналіз сучасного стану проблеми моделювання та прогнозування затоплення територій у разі надзвичайних ситуацій. Результати огляду наукових джерел засвідчили наявність низки невирішених науково-прикладних завдань. Зокрема, існуючі методологічні підходи до прогнозування та оцінки наслідків затоплень не враховують динамічні зміни гідрологічних процесів, що виникають під впливом екстремальних природних явищ, антропогенних факторів, кліматичних змін та інтенсифікації урбанізаційних процесів. У зв'язку з цим актуалізується необхідність розроблення інноваційних методів оперативного моделювання та оцінювання просторово-часових параметрів затоплення, що сприятимуть підвищенню ефективності заходів із мінімізації його негативних наслідків.

У другому розділі роботи Івановим Д.В. проведено аналіз методів і технологій для оцінки ризику затоплення територій. Автором розроблено метод комп'ютерного моделювання затоплення територій при виникненні надзвичайної ситуації на гідроелектростанції. Запропонований Івановим Д.В. метод ґрунтується на застосуванні імітаційного моделювання в поєднанні з геометричними та гідрологічними підходами. Зокрема, він передбачає чисельне визначення параметрів хвилі прориву на основі розрахунку її висоти, а також

реалізацію алгоритму бісекційного поділу площі поперечного перерізу русла водотоку для підвищення точності гідродинамічного аналізу. Це забезпечує можливість чисельного розв'язання одновимірних та двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, що уможливорює комплексний аналіз динаміки затоплення на різних просторових масштабах – від локального до макрорівня. При цьому враховується триангуляційна дискретизація поверхні, що підвищує точність просторово-часового моделювання гідродинамічних процесів. Результати комп'ютерного моделювання показують можливі зони затоплення, що дозволяє оцінити потенційний вплив на прилеглі території. Отримані автором результати дозволили побудувати 3D-модель затоплення території, на основі якої було проведено моделювання надзвичайної ситуації на Середньодніпровській ГЕС.

Третій розділ роботи, який безумовно займає центральне місце в роботі, присвячений розробці геоінформаційної технології моделювання й оцінки наслідків затоплення території.

У п. 3.1 автором запропонована геоінформаційна технологія прогнозування та картографування небезпеки затоплення при антропогенних надзвичайних ситуаціях. Описано методику розрахунку глибини затоплення залежно від відстані від ГЕС із застосуванням алгоритмів розрахунку хвилі прориву та методів оцінки гідродинамічних параметрів водного потоку. Метод моделювання територій ґрунтується на розв'язанні одновимірних і двовимірних систем рівнянь Сен-Венана, які описують рух води у відкритих руслах та є важливим інструментом для прогнозування та аналізу різноманітних гідрологічних сценаріїв. Використання цифрових моделей рельєфу та кліматичних даних сприяє більш точному моделюванню потоків води та зон ризику, що є важливим для завчасного реагування на надзвичайні ситуації.

В підрозділі 3.2 Івановим Д.В. запропонована геоінформаційна технологія виявлення можливих затоплених зон при природних надзвичайних ситуаціях. Автором запропонована методологія цифрового картографування потенційних затоплень на основі комплексного використання напівкерованого машинного навчання та геоінформаційної системи QGIS, що дозволяє точно визначати зони затоплення і створювати детальні карти затоплень. Також запропоновано метод нейромережевого виявлення затоплених зон, який складається з попередньої обробки даних, векторизації супутникових знімків та інтеграції цифрової моделі рельєфу. Розроблена технологія використовує комплексний підхід поєднання неконтрольованого навчання, згорткової нейронної мережі і географічних інформаційних систем, що дозволяє підвищити точність прогнозування зон затоплення територій.

В підрозділі 3.3 автором розроблено архітектуру геоінформаційної системи для прогнозування та моделювання затоплених територій, яка забезпечує

інтеграцію хмарних сервісів, баз даних та інструментів для обробки великих обсягів інформації. Це дозволяє автоматизувати процеси аналізу та візуалізації зон затоплення, забезпечуючи ефективне управління даними та інтерактивний доступ до результатів.

У четвертому розділі роботи Д.В. Івановим запропоновано використання моделей та методів, описаних у другому та третьому розділах, для вирішення прикладних задач по прогнозуванню та оцінці затоплення територій при надзвичайних ситуаціях. Безпосередньо у підрозділі 4.1 здійснено моделювання затоплення території Середньодніпровської ГЕС на основі гідродинамічних розрахунків хвилі прориву, а також розроблено програму для розрахунку глибини затоплення залежно від відстані, результати якої візуалізовані через 3D-моделі місцевості. В підрозділі 4.2 реалізовано геоінформаційну технологію виявлення та моделювання затоплених зон м. Дубай та м. Мукачево на основі напівкерованого машинного навчання. В підрозділі 4.3 протестовано технологію виявлення та моделювання затоплених територій при природних надзвичайних ситуаціях на основі загорткових нейронних мереж. Модель показала високі показники ефективності, такі як точність у 0.88 та F1-міра 0.91 для класу затоплених територій. Це демонструє ефективність технології для моніторингу природних катастроф у міських районах. Проведено порівняння методів напівкерованого навчання та згорткових нейронних мереж для класифікації оптичних супутникових зображень. В підрозділі 4.4 виконано комп'ютерне моделювання та картографування затоплених зон у м. Запоріжжя у разі прориву дамби Дніпровської ГЕС. Розроблено графічний інтерфейс, що дозволяє користувачу завантажити перевірні супутникові дані та ввести ряд параметрів для аналізу, а саме: площу поперечного перерізу, час, витрату, горизонтальну координату в напрямку течії, гравітаційне прискорення, глибину води, поздовжній ухил дна каналу, ухил тертя та середню швидкість води.

У додатках наведено список опублікованих праць автора за темою роботи, документи впровадження результатів дисертації, результати роботи програмної реалізації геоінформаційної системи та фрагменти коду програмної реалізації геоінформаційної технології.

Цінність дисертації для науки. У дисертаційній роботі вирішена важлива науково-прикладна задача підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій в умовах надзвичайних ситуацій за допомогою геоінформаційної технології, що включає моделювання, картографування та аналіз на основі супутникових даних і методів машинного навчання. Автором вперше розроблено автоматизовану геоінформаційну технологію для виявлення та моделювання зон затоплення територій на основі

різночасових супутникових зображень, використовуючи архітектуру напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж з трансферним навчанням, що дозволяє визначати та прогнозувати зони затоплення територій. Набув подальшого розвитку математичний метод розрахунку зон затоплення при руйнуванні дамби, заснований на застосуванні систем рівнянь Сен-Венана. Це дозволило здійснити комплексне моделювання затоплених територій з урахуванням геометричних і гідрологічних характеристик русел річок, що підвищило точність прогнозування наслідків затоплень територій.

Тематика виконання наукових досліджень відповідає паспорту спеціальності 05.13.06 – «Інформаційні технології», зокрема:

- розроблення наукових і методологічних основ створення та застосування інформаційних технологій та інформаційних систем для автоматизованої переробки інформації й управління;

- розроблення моделей і методів автоматизації виконання функцій і завдань виробничого й організаційного управління у звичайних і багаторівневих структурах на основі створення та використання нових інформаційних технологій;

- дослідження та побудова інформаційних технологій для розроблення та впровадження баз і сховищ даних, баз знань і систем комп'ютерної підтримки рішень в автоматизованих системах і мережах;

- розроблення інформаційно-пошукових і експертних систем обробки інформації для прийняття рішень, а також знання орієнтованих систем підтримки рішень в умовах ризику та невизначеності як інтелектуальних інформаційних технологій;

- розроблення інформаційних технологій для побудови і впровадження автоматизованих систем технічного діагностування, геоінформаційних систем різного призначення та комп'ютерних систем електронного бізнесу.

Прикладна цінність дисертації. Запропоновані автором методи та геоінформаційні технології являють собою геоінформаційну систему для інтеграції різних методів картографування і моделювання затоплень територій в умовах реального часу. Практичне значення одержаних результатів полягає у створенні геоінформаційної системи для моделювання, прогнозування та оцінки затоплення території, яка забезпечує інтеграцію даних супутникових знімків, хмарну обробку, візуалізацію результатів на інтерактивній карті та зручний графічний інтерфейс для проведення аналізу й прийняття рішень при надзвичайних ситуаціях з мінімальними витратами часу та ресурсів. Розроблена система складається з таких компонентів:

- розроблено метод комп'ютерного моделювання та картографування затоплення територій при надзвичайних ситуацій для Середньодніпровської ГЕС та Дніпровської ГЕС, який дозволяє точно прогнозувати можливі наслідки затоплень територій, враховуючи різні сценарії надзвичайних ситуацій та гідродинамічні параметри проривної хвилі;

- розроблено автоматизовану геоінформаційну технологію з використанням архітектури напівкерованого машинного навчання та згорткових нейронних мереж на основі різночасових супутникових зображень мереж для виявлення та моделювання зон затоплення територій.

Практичне значення результатів підтверджується впровадженнями результатів дисертаційної роботи у практику робіт ТОВ «КОМПАНІЯ ГЕОНІКС» (Київська обл., Бучанський р-н, смт. Клавдієво-Тарасове) та ТОВ ФІРМА «ГЕОРА» (м. Дніпро), що забезпечує вдосконалення методів прогнозування та оцінки наслідків затоплення, а також оптимізацію процесів управління ризиками в умовах надзвичайних ситуацій, а також впровадженням у освітній процес Національного технічного університету «Дніпровська політехніка».

Рекомендації щодо впровадження результатів дисертації. На мій погляд, коло практичних застосувань результатів роботи не обмежується розглянутими у ній впровадженням. Основні результати дисертації Д.В. Іванова можуть бути використані в науково-дослідних установах, тематика яких пов'язана з прогнозуванням та оцінкою наслідків затоплення територій в інтересах низки предметних галузей – дистанційних досліджень за надзвичайними ситуаціями на гідроелектростанціях, оцінки потенційних наслідків затоплення територій при антропогенних та природних надзвичайних ситуаціях, визначення затоплених територій, прогнозів і обробки супутникових зображень для картографування затоплень, екстреним службам ефективно планувати евакуаційні маршрути внаслідок затоплення територій.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Дисертаційна робота виконана відповідно до закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, № 48, ст.253), і стосується напрямку «інформаційні та комунікаційні технології» (стаття 3). Обраний напрямок досліджень пов'язаний із виконанням науково-дослідної роботи кафедри інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» «Моделі й інформаційні технології обробки та аналізу даних в складних комп'ютерних системах і мережах» (реєстраційний номер 0121U114523, 2022-2024 рр.) та кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем НТУ «Дніпровська політехніка» «Методи, моделі та технології обробки даних в комп'ютерних

системах загального та спеціального призначення» (державний реєстраційний номер 0121U113718), «Високопродуктивні багатопроекторні системи: особливості конструювання, дослідження оцінок ефективності, застосування до розв'язування прикладних задач» (державний реєстраційний номер 0122U201569).

Загальна оцінка дисертаційної роботи. Дисертація являє собою завершену наукову працю, виконану на високому науковому рівні. Робота добре оформлена та ілюстрована, відзначається точними формулюваннями. Для дисертації характерний тісний логічний зв'язок окремих питань дослідження, що дозволяє трактувати результати роботи як цілісну методологію підвищення точності прогнозування та оцінки наслідків затоплення територій в умовах надзвичайних ситуацій шляхом розробки нових геоінформаційних технологій.

Кількість і рівень публікацій за темою дисертації відповідають існуючим вимогам. Основні положення і результати дисертації відображені у 13 наукових працях. Сім статей розкривають основний зміст дисертації: з них 2 у наукових виданнях, що індексуються у НМБД Scopus, 5 входять у перелік фахових видань, які рекомендовано Міністерством освіти і науки України. Автор має 6 доповідей на науково-практичних міжнародних конференціях.

Анотеза із достатньою повнотою розкриває зміст дисертації.

Зауваження по роботі. Незважаючи на актуальність обраної теми, глибоке дослідження поставлених задач, дисертаційна робота не позбавлена деяких недоліків:

1. У ряді місць дисертація переобтяжена матеріалами, які слід було скоротити або винести у додатки. Зокрема, у п. 1.2 наведено огляд моделі гідрографу рівня розливу водойми.

2. В роботі не приділено належної уваги порівнянню часових витрат при обробці супутникових зображень на локальному комп'ютері та у web-сервісі на базі хмарної платформи.

3. У роботі дуже стисло наведено опис бібліотеки нейронної мережі ResNet50, яка використовується для навчання згорткової нейронної мережі.

4. У дисертаційній роботі автором не вказано залежності часу обробки супутникового знімка від його розміру, а також мінімальні вимоги для роботи розробленого програмного додатку.

5. У підрозділі 3.2.1 відсутній порівняльний аналіз можливостей методу напівкерованого навчання K-means (метод кластеризації) з іншими існуючими методами.

6. В тексті дисертації зустрічаються друкарські помилки та стилістичні вади.

