



ISSN 2411-6602 (Online)

ISSN 1607-2855 (Print)

Том 12 • № 1 • 2016 С. 38 – 43

УДК 504.3.054 : 004.9

## Моделювання підтоплень територій населених пунктів за допомогою геоінформаційних технологій

В.І. Зацерковний<sup>1\*</sup>, М.Д. Богославський<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Київський національний університет імені Тараса Шевченка

<sup>2</sup>Національний авіаційний університет, м. Київ

*В статті розглянуто основні проблеми, пов'язані із підтопленнями територій. Визначені шляхи запобігання та усунення цих проблем. Запропоновано використання геоінформаційних технологій у боротьбі з підтопленнями, що може якісно покращити моніторинг територій, заощадити час і гроші.*

*МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОДТОПЛЕНИЙ ТЕРРИТОРИЙ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С ПОМОЩЬЮ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, Зацерковный В.И., Богославский М.Д. — В статье рассмотрены основные проблемы, связанные с подтоплением территорий. Определены пути предотвращения и устранения этих проблем. Предложено использование геоинформационных технологий в борьбе с подтоплением, что может качественно улучшить мониторинг территорий, сэкономить время и деньги.*

*MODELLING OF SETTLEMENT TERRITORY FLOODING USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES, by Zatserkovnyi V.I., Bogoslavskiy M.D. — The article describes the main problems concerned with area flooding. The ways to prevent and eliminate these problems are determined. It is proposed to use the GIS technologies in the fight against flooding. This can qualitatively improve monitoring of territories, save time and money.*

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии (ГИТ); естественное подтопление; техногенное подтопление; прогнозирования подтоплений; оценка ущерба; стихийные природные явления.

**Key words:** geographic information technology (GIT); natural flooding; man-made flooding; flood forecasting; assessment of damages; natural phenomenon.

### 1. ВСТУП

Клімат на планеті змінюється і стає більш непередбачуваним. За даними ООН, з кінця XIX до початку XXI ст. загальне підвищення глобальної температури на земній кулі не перевищувало 0,6°C. При цьому середня швидкість підвищення глобальної температури до 1970 р. становила 0,05°C за 10 років. Проте за останні десятиліття темпи зростання температури зросли вдвічі. Це спричинено тим, що, по-перше, людство “підігріває” атмосферу, спалюючи велику кількість вугілля, нафти, газу, будуючи нові атомні електростанції, а по-друге, внаслідок неефективного спалювання органічного палива і неконтрольного вирубування лісів на планеті в атмосфері нагромаджується вуглекислий газ й інші домішки, які помітно змінюють склад атмосферного повітря і призводять до парникового ефекту, який істотно впливає на тепловий режим нашої планети.

Наслідком цих чинників стало підвищення інтенсивності планетарної циркуляції атмосфери, яке проявляється у збільшенні повторюваності стихійних явищ погоди над поверхнею Землі, а саме: ураганів, смерчів, тайфунів, злив, граду, екстремальних рівнів температури повітря тощо, кількість яких за останні 30 років збільшилася у 4 рази, а повеней і паводків — у 6 разів. При цьому зростає їх руйнівна сила, яка збільшує розміри економічних збитків та кількість людських жертв, що ставить проблему запобігання та мінімізації наслідків у ряд першочергових завдань.

Додатковими факторами виступають також урбанізація, виснажливе природокористування, інтенсифікація агропромислового використання земель, зміна природних русел, ріст населення та кількості міст, будівництво автомобільних та залізничних шляхів сполучення, прорахунки у конструюванні інженерних протипаводкових заходів тощо.

На межі другого й третього тисячоліть через стихійні лиха загинуло близько 3 млн. людей, загальна кількість потерпілих сягнула майже 800 млн. людей. При цьому близько 40% усіх стихійних лих у світі припадає на повені і паводки. А за повторюваністю, площею поширення і середньорічними матеріальними збитками вони займають перше місце серед стихійних лих [1]. Вчені прогнозують, що до 2050 року кількість паводків зросте в 9 разів, а збитки від них становитимуть десятки мільярдів доларів США [1].

\* Зацерковний Віталій Іванович; ✉ zvigis@mail.ru

В Україні вплив шкідливої дії паводкових вод спостерігається на 27% території держави (близько 165 тис. км<sup>2</sup>), де проживає майже третина населення. Підвищення рівня річок у період паводків призводить до негативного впливу на довкілля, а саме: затоплення територій, руйнування житла і інженерних споруд (руйнування мостів, доріг, будівель), розмиву сховищ для зберігання хімічних речовин, контейнерів для зберігання нафтопродуктів на АЗС, забруднення колодязів питної води, змиву родючого ґрунтового шару сільгоспугідь, що спричиняє ерозію ґрунтів, знищення сільськогосподарських угідь та посівних площ, створення небезпечних умов для розвитку епідеміологічної ситуації (ракові захворювання, висипи, отруєння), при великих швидкостях руху (більше 4 м/с) і великій висоті підйому води (більше 2 м) спричиняють загибель людей і тварин, руйнування іригаційних та водопостачальних систем, тобто набуває катастрофічного характеру в різних регіонах України. Як наслідок, протягом останніх десятиліть паводки створюють екологічну, економічну та соціальну загрозу для багатьох регіонів України.

Крім перерахованого, у зв'язку зі зміною клімату з'явився ще один фактор формування підняття рівня води й затоплення територій — це водна рослинність, яка почала швидко захоплювати русла річок й створювати суттєвий опір руху води.

Недостатня і несвоєчасна прогнозованість рівня розвитку повеней (водопілля), паводків і селевих потоків, відсутність сучасного, повноцінного і цілісного захисного комплексу призводять до щорічних збитків у різних секторах економіки та призводять до людських жертв. Наведене свідчить, що проблема прогнозування паводкової активності територій набуває загальнодержавного значення.

## **2. АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ**

Окремі аспекти цієї проблеми висвітлювалися і наукових працях українських та зарубіжних вчених: Безверхнюка Т.М., Білоус Л.Ф., Диняк О.В., Іванова П.С., Кіпача Ф.Я., Клапоушака О.І., Ковальчука П.І., Колоса Л.М., Кошлякова О.Є., Кузьменко В.Д., Мамоїленко Л.І., Марківа О.М., Петліна В.М., Тараріко Ю.О. та інших.

Питаннями, пов'язаними з паводковими явищами у західних регіонах та закономірностями їх поширення, причинами їх виникнення та повторюваності займалися такі науковці, як Сусідко М.М., Олійник В.С., Перехрест С.М. та ін.

Проблемою пошуків оптимальних методик математичного моделювання рельєфу, подання його структури з іншими географічними елементами та процесами займалися у різні роки багато вчених. Зокрема, типи рельєфу та їх класифікацію проаналізував А.В.Бойко. Автоматизацію визначення структурних ліній із врахуванням геоморфології рельєфу досліджував Р.М.Рудий. Теоретичні і практичні аспекти цифрового моделювання рельєфу (ЦМР) висвітлені у працях О.М.Лобанова, В.Я.Фінковського, О.Л.Дорожинського. Детальному аналізу точності ЦМР, створених картометричним і фотограмметричним методами, присвячені праці Х.В.Бурштинської. Алгоритми цифрового моделювання та методи апроксимації поверхонь представлені в працях К.Крауса, Р.Фінстервальдера та ін. Н.Маркус успішно розв'язав практичні задачі цифрового моделювання рельєфу. За цей час створено десятки методів математичного моделювання рельєфу, розроблено класифікації ЦМР залежно від способів апроксимації рельєфу, розміщення вихідних точок моделі, способів підготовки вихідної інформації. Для апроксимації використовуються різні функції: алгебраїчні поліноми, ортогональні поліноми Ньютона, мультіквадрикові функції, сплайн-функції, ряди Фур'є тощо.

## **3. ВИДІЛЕННЯ НЕ ВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ**

Як свідчить багаторічний досвід, без урахування даних прогнозування надзвичайних ситуацій (НС) неможливо планувати розвиток територій, приймати рішення на будівництво промислових і соціальних об'єктів, розробляти програми і плани з попередження та ліквідації можливих НС.

Особливістю паводків, як і деяких інших стихійних лих природного характеру, є те, що їх неможливо уникнути, проте їхній вплив можна послабити, локалізувати і при завчасному попередженні звести до мінімуму матеріальні втрати. Це досягається передусім за допомогою оперативного моніторингу і прогнозуванням паводкової ситуації, будівництва та зміцнення водозахисних дамб, прийняття ефективних організаційних рішень, своєчасного оповіщення населення і керівництва регіонів про можливість і масштаби повені тощо.

При цьому, як свідчить досвід зарубіжних країн боротьби з повенями і паводками, доцільніше витратити фінансові ресурси на створення ефективної системи моніторингу та профілактичні протиповеневі заходи, ніж на ліквідацію їхніх наслідків.

## **4. МЕТА РОБОТИ**

Метою роботи є наукове обґрунтування шляхів моделювання і прогнозування розвитку паводків для послаблення їхнього впливу за допомогою геоінформаційних технологій та показ можливостей та основних напрямків застосування геоінформаційного моделювання.

**Таблиця 1.** Класифікація затоплень і фактори, що здійснюють вплив на величину максимального підйому рівнів води при різних видах повеней [2]

Вид затоплень	Фактори, що впливають на величину максимального підйому рівня води під час повені
Повінь	Запас води у сніжному покриві перед початком весняного танення; атмосферні опади в період в сніготанення і повені; осінньо-зимове зволоження ґрунту до початку весняного сніготанення; льодова корка на ґрунті; інтенсивність сніготанення; поєднання хвиль повені крупних приток річкового басейну; озерність, заболоченість і лісистість басейну, рельєф басейну
Паводок (водопілля)	Кількість опадів, їх інтенсивність, тривалість, площа охоплення, що передують випадку опадів, зволоженість і водопроникність ґрунту, рельєф басейну, величина ухилів річок, наявність і глибина мерзлоти
Затор, зажор	Поверхнева швидкість течії води, наявність у руслі звужень, заворотів, мілин, крутих поворотів, островів й інших руслових перепон, температура повітря в період льодоставу (при зажорі) або в період льодоходу (при заторі), рельєф місцевості
Нагін	Швидкість, напрямок і тривалість вітру, співпадіння за часом з приливом або відливом, ухил водної поверхні і глибина річки, відстань від морського узбережжя, середня глибина і конфігурація водойми, рельєф місцевості
Повінь (затоплення) при проривах гребель	Величина перепаду рівня води в створі греблі: об'єм, заповнений водою у водосховищі на момент прорану; ухил dna водосховища і ріки; розміри прориву і час утворення прорану; відстань від греблі, рельєф місцевості

## 5. ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Розмаїття повеней і характеристик їх прояву можна звести до п'яти узагальнених груп, які поєднують різні повені за причинами виникнення і характеру прояву (табл. 1) [2].

За повторюваністю, площами розповсюдження і сумарному середньорічному матеріальному збитку повені і паводки на території України, як і в багатьох інших країнах світу, займають перше місце в ряду стихійних лих, а за кількістю людських жертв і питомій вазі матеріального збитку (збитку, що припадає на одиницю ураженої площі) займають друге місце після землетрусів.

Розмір збитку від повеней залежить від цілого ряду причин, таких як висота і тривалість стояння загрозливих рівнів води, площа затоплень, пора року, в яку спостерігається повінь, своєчасність і точність прогнозу затоплення, а також від організаційних заходів, виконаних для попередження повені або зменшення її негативних наслідків.

Щоб знизити збитки і втрати від паводків і повеней, необхідно своєчасно розв'язувати задачі, пов'язані з оцінкою небезпеки та уразливості:

1) на стадії підготовки до паводків: своєчасно спрогнозувати місце, час і потужність очікуваних паводків в довгостроковому, середньостроковому та короткостроковому режимах часу;

2) оцінювати повеностійкість можливих об'єктів впливу: в першу чергу будівель і споруд (гребель, мостів, трубопроводів, ЛЕП, доріг та інших об'єктів). Ця задача пов'язана з оцінкою вразливості можливих об'єктів впливу повені; оцінити можливі втрати і збитки при відомих прогнозованих параметрах паводків у всіх режимах прогнозування;

3) на стадії виникнення паводків:

- своєчасно оцінювати можливі втрати і збитки при фактичних параметрах паводків і з урахуванням оперативного прогнозування можливих параметрів паводків при можливих заторах;
- оцінювати вразливість можливих об'єктів (будівель і споруд) після первинного впливу паводків;
- визначати необхідні сили і засоби і раціональні сценарії реагування;

4) на стадії ліквідації наслідків паводків:

- оцінювати ступінь пошкодження будівель, споруд та інших об'єктів і визначати фактичний збиток;
- оцінювати територію для можливого нового повенібезпечного будівництва і ведення народного господарства.

На всіх стадіях боротьби з паводковою небезпекою необхідна базова інформація про місцевість і об'єкти, розташовані на ній:

- про гідропости, метеостанції та інших пунктах спостереження, які забезпечують моніторинг паводкової небезпеки;
- про ґрунти і рельєф місцевості;
- про річках при різних режимах їх стану;
- про населених пунктах і населенні,
- про будівлях та спорудах.

При розрахунку можливої шкоди від дії паводків можливі два випадки:

- при повільному затопленні (хвилини, години) території, при цьому основними вражаючими факторами є висота затоплення і час затоплення;

– при швидкому затопленні основними вражаючими факторами є швидкість потоку води і висота хвилі. Істотний вплив на формування параметрів висоти затоплення та швидкості хвилі робить рельєф місцевості.

Для розрахунку можливих наслідків впливу повеней на будівлі і споруди та людей, що знаходяться в них, важливо знати вразливість будівель і споруд та ґрунтового масиву.

Основними кількісними характеристиками паводків, спричинених кліматом, є кількість річних ділянок, які одночасно охоплені паводками у тому або іншому регіоні, висота і частота перевищення рівня води відмітки початку затоплення території, освоєної людиною.

Відображення паводкобезпечних районів засобами ГІС можливе власне за допомогою побудови тривимірної моделі рельєфу [3]. Щоб змодельувати зони затоплення, необхідно на основі її цифрової карти побудувати 3D модель місцевості. Для процесу моделювання був використаний програмний засіб ESRI ArcGIS. Як приклад, 3D модель р. Десна було побудовано на основі шару горизонталей цифрової карти. Вихідними даними для виконання робіт слугували дані, надані Деснянським басейновим управлінням водних ресурсів Чернігівської області (табл. 2).

**Таблиця 2.** Відмітки рівнів води р. Десни в Балтійській системі (БС)

Забезпеченість	т.1 200 м нижче за течією від ж/д моста	т.2 70 м нижче за течією від пішохідного моста	т.3 насосна станція (Бобровиця)	т.4 5 км вище по течії від насосної станції
1%	111,50	112,372	112,44	112,48
5%	110,82	111,572	111,63	111,64
10%	110,30	110,952	111,01	111,02
25%	109,74	110,282	110,33	110,34
50%	109,15	109,522	109,56	109,57

Для створення TIN-моделі рельєфу потрібно один або декілька шарів, що мають в атрибутивній таблиці значення абсолютної висоти.

У діалоговому вікні (рис. 1), пропонується вибір шарів, на основі яких може бути побудована TIN-модель (рис. 2).

Ліворуч позначаються шари, на основі яких буде побудована TIN-модель, праворуч — поле, що містить значення абсолютних висот. Результат моделювання представлений на рис. 2.

3D модель міста Чернігова з всіма накладеними шарами на базову поверхню представлена на рис. 3.

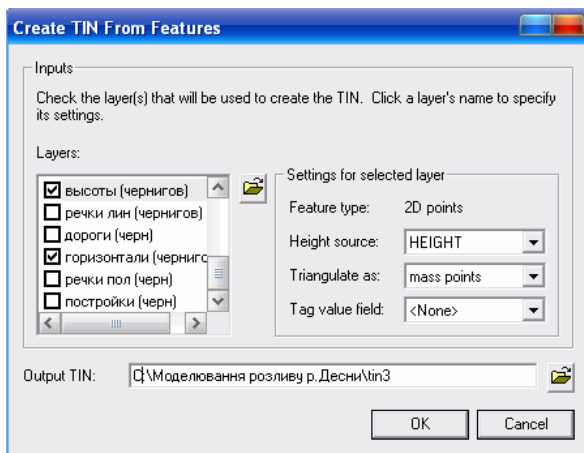
Загроза затоплень залежить передусім від висоти підйому рівня води у річці. При цьому найважливішою характеристикою є максимальний рівень води, який опосередковано характеризує площу, шар і тривалість затоплення місцевості.

Для моделювання розливу ріки при заданій процентній забезпеченості необхідно використовувати меню установки 3D-параметрів моделі і ввести параметри для моделювання. Для розрахунку цих параметрів використаємо формулу [4]:

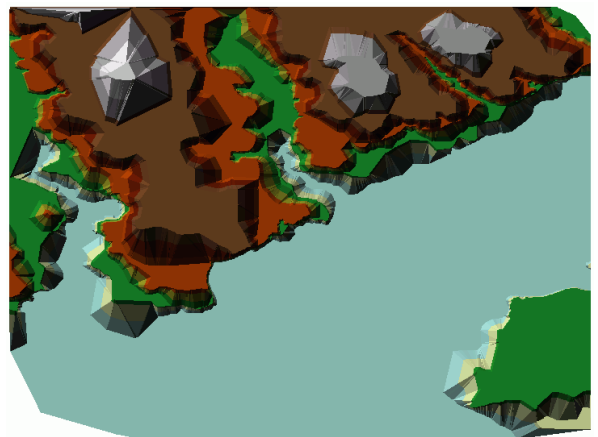
$$Z_{\%} = \left( \frac{n_1 + n_2 + n_3 + n_4}{4} + B \right) \cdot 10^{-6},$$

де  $Z_{\%}$  — параметр % забезпеченості;  $n_{1,2,3,4}$  — дані по створах (табл. 1);  $B$  — коефіцієнт для ArcScene (використовується для накладання шарів).

В результаті розрахунку отримаємо такі параметри забезпеченості: для 1% забезпечення — 0,000112198; 5% — 0,0001114155; 10% — 0,0001108205; 25% — 0,000110173; 50% — 0,0001094505.



**Рис. 1.** Діалогове вікно для створення TIN-моделі



**Рис. 2.** Побудована TIN-модель

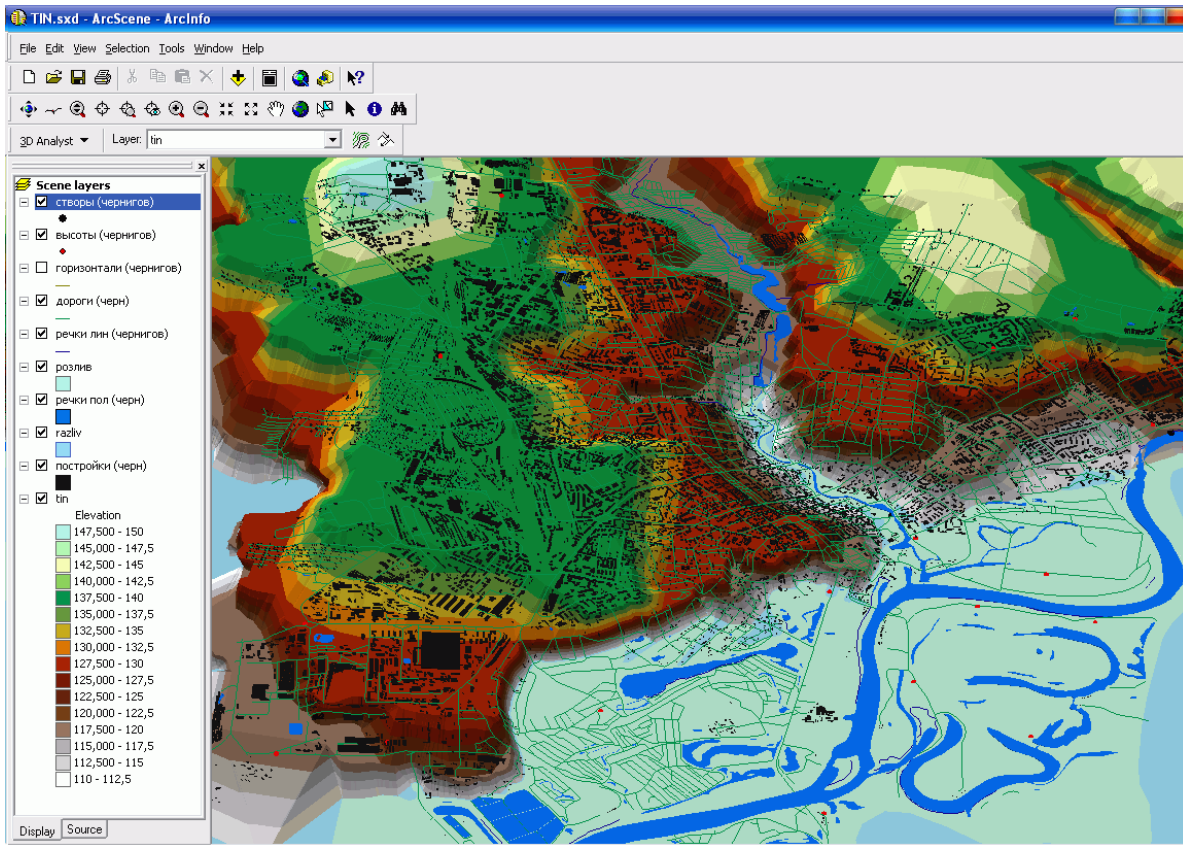


Рис. 3. 3D модель міста Чернігова в ArcScene

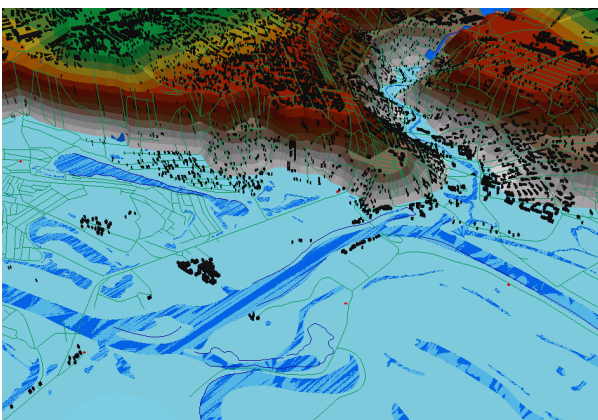


Рис. 4. Модель розливу р. Десна при 50% забезпеченості

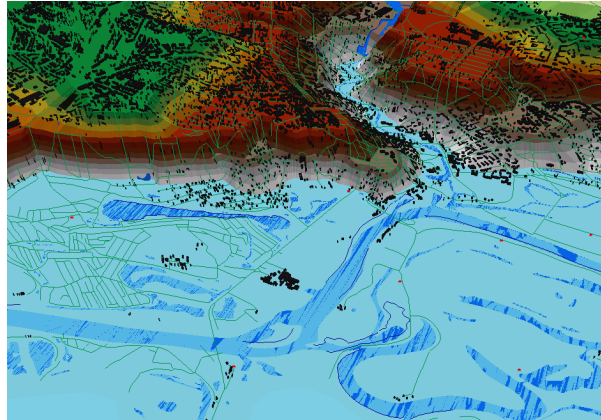


Рис. 5. Модель розливу р. Десна при 25% забезпеченості

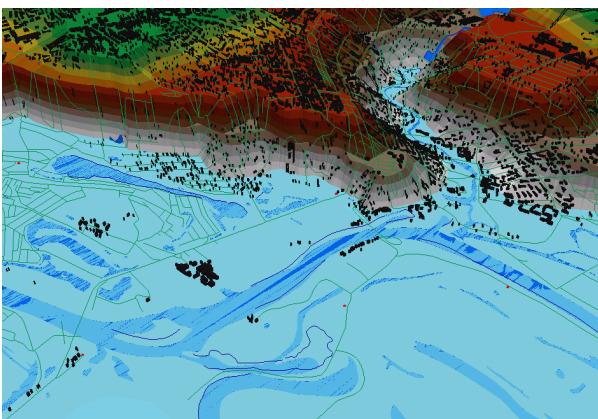


Рис. 6. Модель розливу р. Десна при 10% забезпеченості

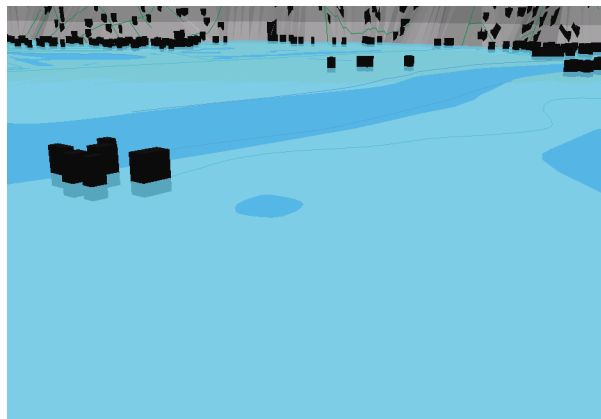


Рис. 7. Модель розливу р. Десна при 5% забезпеченості



Візуалізація розливу річки для різних забезпеченостей представлена на рис.4–7, з яких видно різний рівень затоплення територій при різній забезпеченості.

## 6. ВИСНОВКИ

Моделювання підтоплення території за допомогою геоінформаційних технологій в періоди повеней, що здійснене авторами, дає можливість оцінити загальну геоекологічну ситуацію, пов'язану з інженерно-гідрологічними особливостями території. Оцінки ризику затоплення території дозволяють планувати раціональне використання прируслових територій, що сприяє їх сталому розвитку.

Створення моделей прогнозування наслідків катастрофічних повеней надасть можливість завчасно попереджати населення про небезпечні природні процеси й уникнути невизначеності при прийнятті управлінських рішень при регулюванні рівнів води у водосховищах, на греблях, меліоративних системах тощо, дасть можливість попереджувати розмив ґрунту, руйнацію автошляхів, мостів, замулювання колодязів, перерозподіл забруднюючих речовин тощо.

1. Протипаводковий захист. Інформаційно-аналітична довідка щодо проблем комплексного протипаводкового захисту територій регіонів України від катастрофічних паводків та мінімізації збитків від шкідливої дії вод [Електронний ресурс]: Протипаводковий захист / Державне агентство водних ресурсів України. Офіційний сайт. — Режим доступу: <http://www.scwm.gov.ua/index.php>
2. Гур'єв С.О., Шищук В.Д., Шкатула Ю.В. Медицина надзвичайних ситуацій. Екстрена медична допомога: навчальний посібник. — Суми: Видавництво СумДУ, 2010. — 321 с.
3. Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Вірило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. — Ніжин: НДУ ім. М.Гоголя, 2016. — 510 с.
4. Прогнозирование наводнений [Електронний ресурс]: Прогнозирование наводнений / Академия ГПС МЧС России. Официальный сайт — <http://www.agps-mipb.ru/index.php/2011-01-08-07-37-51/426-prognozirovanie-navodnenij.html>

Надійшла до редакції 16.07.2016

Прийнята до друку 26.08.2016