

## ЗАСТОСУВАННЯ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗАТОПЛЕНЬ ТЕРИТОРІЙ

**В.І. Зацерковний, Л.В. Плічко, О.І. Шищенко**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна, e-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com, PlichkoL@ukr.net, oksana.shyshenko@gmail.com*

Науково обгрунтовано необхідність геоінформаційного моделювання і прогнозування розвитку повеней для послаблення їхнього негативного впливу за допомогою геоінформаційних технологій. Показано можливості застосування геоінформаційного моделювання при прогнозуванні та візуалізації затоплення територій. Описано використання програмного забезпечення ArcGIS в алгоритмах моделей геообробки для вирішення задач прогнозування затоплень як інструменту швидкодіючого і наочного експрес-аналізу.

**Ключові слова:** геоінформаційні технології, моделювання, прогнозування, повені, ArcGIS.

**Постановка проблеми.** У сучасному житті людського суспільства значну увагу приділяють проблемам, пов'язаним з подоланням наслідків дії надзвичайних ситуацій (НС), а також кризових явищ, що призводять до людських втрат і величезних матеріальних збитків. Серед НС природного і техногенного походження особливе місце належить повеням і підтопленням територій, які є одними з основних соціально-екологічних проблем сучасності.

На території України налічується 22,4 тис. рік і річок загальною довжиною 130 тис. км. Ріки Карпат і Криму — гірські, з швидкою течією, з переважно дощовим живленням. Паводки і повені на них відбуваються здебільшого в період літніх дощів. Ріки рівнинного типу мають переважно снігове живлення. Паводки і повені на них найчастіше є наслідком весняного танення снігу [1].

Активізація екзогенних геологічних процесів за останні десятиліття на території України зумовлена глобальними змінами клімату, появою циклічних періодів збільшення кількості опадів та підвищенням рівня підземних вод, надмірною зарегульованістю річок водосховищами та ставками, незадовільним функціонуванням або відсутністю у населених пунктах зливової каналізації, дренажу та інших систем водовідведення, неконтрольованим зрошенням присадибних ділянок тощо. Зазначене стає реальною загрозою життю населення, а також об'єктам господарювання. Отже, виникає гостра потреба у своєчасному прогнозуванні виникнення НС, спрямованому на запобігання людським втратам і зменшення збитків від них [2, 3].

**Актуальність теми і ступінь розробленості теми дослідження.** Паводки і повені завдають людському суспільству збитків з найдавніших часів, на сьогодні частота цих явищ і розміри втрат від них стрімко зростають. Тим не менш досі не існує надійних довгострокових прогнозів появи згаданих процесів, достовірних і загальноприйнятих методів підрахунку

заподіюваних ними збитків. У зв'язку з цим актуальним є посилення науково-дослідних, організаційних і практичних робіт, спрямованих на зменшення ризиків і збитків від повеней і затоплень.

З урахуванням просторості річкових заглав і швидкості процесів затоплення, що відбуваються на них, для вирішення цієї проблеми доцільно використовувати методи дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з космосу. Важливими перевагами цих методів є велика оглядовість, можливість регулярного відстеження стану земної поверхні, висока оперативність отримання актуальної інформації про район дослідження та інтеграція в геоінформаційні системи (ГІС).

Застосування ГІС як інтегрованої основи дистанційних і наземних даних щодо повеней та затоплення земель й відомостей про антропогенне навантаження території дає змогу створювати інформаційні ресурси з метою розробки правил використання затоплюваних територій, подання їх у вигляді картографічних матеріалів, а також приймати ефективні управлінські рішення. За допомогою моделювання затоплень території в періоди повеней можна оцінювати загальну геоecологічну обстановку, пов'язану з інженерно-гідрологічними особливостями території. За оцінками ризику затоплення території планують раціональне використання прируслових територій, що сприяє їх стійкому розвитку.

Інформація про повені й затоплення має просторову основу, тому інформаційною основою для задач моделювання і прогнозування мають бути геоінформаційні технології (ГІТ). За їх допомогою вирішують задачі накопичення, збереження, оновлення й аналізу гідрологічної, гідргеологічної і інженерно-геологічної інформації [2–6].

**Аналіз попередніх досліджень.** Результати досліджень вітчизняних учених відображені у працях Є.С. Анпілової, Я.О. Адаменка, Т.М. Безверхнюка, Л.Ф. Білоус, О.І. Бондаря, О.С. Волошкіної, А.І. Горової, Л.Д. Грекова, В.М. Гуцуляка, О.В. Диняк,

П.С. Іванова, Ф.Я. Кіпчача, М.О. Клименка, О.І. Клапоушача, І.П. Ковальчука, О.Є. Кошлякова, Г.Я. Красовського, М.С. Мальваного, Л.В. Міщенко, В.Г. Петрука, Л.Д. Пляцука, Г.І. Рудька, Я.М. Семчука, Т.А. Сафранова, О.М. Трофимчука, Б.А. Шелудченка, В.М. Шмандія, Є.О. Яковлева та багатьох інших, а закордонних учених — у публікаціях А.У. Darnley, А. Yore, А. Kloke, R.F. Mann, I.O. Njagu, Y. Pedro, I. Tornton.

Питанням, пов'язаним з паводковими явищами у західному регіоні країни та закономірностями їх поширення, причинами виникнення та повторюваності, присвячені роботи М.М. Сусідко, В.С. Олійника, С.М. Перехреста, О.О. Іщука та ін.

Проблеми пошуків оптимальних методик математичного моделювання рельєфу, подання його структури з іншими географічними елементами та процесами вирішували у різні роки багато вчених. Зокрема, типи рельєфу та їх класифікацію проаналізував А.В. Бойко, автоматизацію визначення структурних ліній з урахуванням геоморфології рельєфу досліджував Р.М. Рудий, теоретичні й практичні аспекти цифрового моделювання рельєфу (ЦМР) висвітлено 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 [2]. Алгоритми цифрового моделювання та методи апроксимацій поверхонь наведено у працях К. Крауса, Р. Фінстервальдера та ін. Н. Маркус успішно вирішив практичні задачі ЦМР. На сьогодні створено десятки методів математичного моделювання рельєфу, розроблено класифікації ЦМР залежно від способів апроксимації рельєфу, розміщення вихідних точок моделі, способів підготовки вихідної інформації. Для апроксимації використовують різні функції: алгебричні поліноми, ортогональні поліноми Ньютона, мультикватрикові функції, сплайн-функції, ряди Фур'є тощо.

**Об'єктом дослідження** є території, що зазнають сезонних затоплень.

**Предмет дослідження** — застосування ГІТ, матеріалів ДЗЗ для моніторингу повеней і моделювання затоплень територій.

**Методи досліджень** — це методи геоінформаційного аналізу даних ДЗЗ, автоматизованої обробки даних і картографування результатів, аналізу та узагальнення матеріалів на засадах теорії ризику та її застосування для оцінювання ризику затоплень території в періоди повеней.

**Мета статті** — наукове обґрунтування шляхів моделювання і прогнозування розвитку паводків для послаблення їхнього впливу за допомогою ГІТ, а також опис можливостей та основних напрямів застосування геоінформаційного моделювання, підвищення рівня оперативності при прогнозуванні та візуалізації затоплення територій.

**Виклад основного матеріалу.** Однією з найсклад-

ніших проблем геоінформатики, пов'язаних з дослідженням повеней, є прогнозування максимально можливих величин підняття рівня і площі затоплених земель, що пов'язане із застосуванням складних аналітичних формул й обробкою великої кількості статистичних даних: метеорологічних, гідрологічних, гідромеханічних, теплофізичних тощо.

Нижче описано розподіл повеней природного характеру.

1. Повені, що зумовлені випаданням сильних опадів або інтенсивним таненням снігу (льодовиків) у басейні річки.

2. Повені, що виникають унаслідок поєднання паводкових вод з льодоходом. Льодохід часто супроводжується заторами (нагромадження льоду в руслі ріки) або зажерами (скупчення внутрішньоводного льоду, що утворює льодяну пробку), які спричинюють додаткове підвищення рівня води і затоплення нових територій. У разі прориву водою перешкоди може утворитися навальна хвиля, що створює небезпеку затоплення території, розташованої нижче за течією. Затори найчастіше утворюються на ріках, що течуть із півдня на північ, оскільки південні ділянки ріки звільняються від льоду раніше, ніж північні, і льодохід, що розпочався, зустрічає на своєму шляху перешкоду у вигляді льодоставу. Зажери утворюються у передльодоставний період і за наявності ділянок ріки, що не замерзають протягом зими.

3. Повені, що виникають під дією нагонного вітру. Вони спостерігаються на морських узбережжях і на гирлових ділянках рік, що впадають у море. Нагінне повітря затримує воду в гирлі, внаслідок чого підвищується її рівень у річці. Повені такого типу спостерігали у дельті Неви в Росії, а також у Голландії, Великій Британії, Німеччині та в інших регіонах земної кулі. Класичним прикладом такого типу повеней є повені в Санкт-Петербурзі (за час існування міста їх було понад 300). За своїми наслідками вони наближалися до найбільших повеней і цунамі.

4. Підтоплення. Воно спричинюється підвищенням рівня ґрунтових вод унаслідок сильних опадів і несправності дренажних систем. Крім того, гідротехнічне будівництво може призвести до перерозподілу річкового стоку та перекриття природних шляхів дренажу ґрунтових вод.

5. Гідрологічне стихійне лихо, зумовлене цунамі, розглядають як різновид повеней, хоча воно пов'язане з тектонічними процесами.

Для прогнозу розподілу стоку в період повеней найчастіше використовують графоаналітичні методи (методи одиничної повені та кривих добігання), а також математичні моделі (модель формування талого, дощового і талодощового стоку) [3]. Однак навіть на найточніший прогноз на практиці можуть впливати непередбачувані погодні умови: аномальна кількість опадів, екстремальні (високі або низькі) температури. У такому разі спочатку не прогнозують

повені, а моделюють рух води та його наслідки за поточного розвитку подій.

Достатнім інструментарієм для розв'язання подібного роду задач володіють геоінформаційні пакети — комплекс апаратно-програмних засобів і алгоритмічних процедур, що створені для цифрової підтримки, поповнення, управління, маніпулювання, аналізу, математико-картографічного моделювання й образного відображення географічно координованих даних [4, 7, 8]. На відміну від складних методик математичного моделювання геоінформаційні пакети дають змогу створювати моделі затоплення відносно просто і, головне, швидко.

За сучасними методами просторового аналізу на базі ГІТ, з використанням ГІС, будують прогнозні моделі, створюють сценарії можливих ситуацій для швидкого і науково обґрунтованого прийняття управлінських рішень.

Моделювання зон затоплення за допомогою ГІТ дає змогу органам управління територіями і підрозділам, які прогнозують НС і ліквідують їх наслідки, вирішувати такі завдання [4]:

- створювати банки цифрових даних на райони, які найбільш потерпають від природних і техногенних впливів; використовувати їх для моделювання, прогнозування і оповіщення населення про можливі наслідки НС;

- створювати банки цифрових просторових даних на окремі ділянки місцевості, на яких розташовані потенційно небезпечні об'єкти (греблі, газо- і нафтоховища, хімічні підприємства).

У режимі рік зазвичай виділяють водопілля, повінь і межень. Під водопіллям розуміють щорічно повторюване в один і той самий сезон значне і доволі тривале підвищення рівня води у річці. Як правило, водопілля виникає через танення снігу на рівнинах і дощові опади і відбувається весною. У гірських районах виділяють весняно-літнє водопілля, пов'язане з таненням снігу і льодовиків у високогірних областях і випаданням опадів. Повінь — це інтенсивне, порівняно короткочасне підвищення рівня води, спричинене дощами і зливами, іноді таненням снігу під час зимових відлиг. Меженню називають період низької водності річок, що встановлюється в зимовий і літньо-осінній сезони, тому розрізняють зимню і літньо-осінню межень. У період водопілля і повеней рівень води в річках досягає найвищого значення, яке називають максимальним рівнем води в період водопілля або повені. Дані щодо максимальних рівнів і витрат води за рік узагальнюють, оскільки вони відіграють велику роль при дослідженні повеней і організації боротьби з ними. Саме максимальний рівень води визначає площу і глибину затоплень прибережних територій. Дані стосовно максимальних рівнів води використовують при проектуванні гідротехнічних споруд, а також житлових і господарських об'єктів, розташованих у прибережній зоні.

Для прогнозування і моделювання повені у тому

чи іншому населеному пункті або області важливо враховувати загальну характеристику місця розташування, геологічних процесів, клімату, гідрографічної сітки та впливу антропогенних процесів на це явище [5].

Застосування геоінформаційних методів для прогнозування і моделювання повеней зумовлено необхідністю забезпечення єдності і безперервності інформаційної і нормативно-методичної підтримки у сфері використання, охорони та управління водними об'єктами.

За допомогою ГІС розглядають дані досліджуваних об'єктів відносно їх просторових взаємовідношень. Це дає змогу комплексно оцінити в процесі управління ситуацію і створити основу для ухвалення ефективніших рішень. Об'єкти і процеси, які описують в ГІС, є частиною реального світу, і кожне рішення, яке приймають стосовно цих об'єктів, обмежується або диктується тим або іншим фактором. На сьогодні можливість використання ГІС поєднана з потребою в них, наслідком чого є швидке зростання популярності цих систем.

Гідрографічна мережа Чернігівської області належить до басейнів річок Десна та Дніпро. Згідно з Державним водним кадастром, у межах області ці басейни розбито на водогосподарські ділянки (басейн р. Дніпро — 7 ділянок, басейн р. Десна — 6 ділянок). Загальна площа земель водного фонду області становить 197,714 тис. га, в тому числі площа відкритих заболочених земель — 129,691 тис. га. Площі, зайняті водними об'єктами, дорівнюють 68,023 тис. га, в тому числі річками та струмками — 17,696 тис. га, озерами та прибережними замкнутими водоймами — 10,293 тис. га, ставками та водосховищами — 29,704 тис. га, штучними водотоками — 10,330 га.

Усього на території області тече 1570 річок загальною довжиною 8369 км. Відповідно до класифікації річок України, всі річки Чернігівської області поділяють на 2 великі — Дніпро (124 км) і Десна (505 км), 8 середніх — Сож, Трубіж, Супій, Удай, Судость, Сейм, Снов, Остер (загальна протяжність 723 км), 1560 малих річок (загальна протяжність 7017 км), з яких 160 мають довжину більш як 10 км.

Головною водною артерією області є р. Десна (рис. 1). Вона — лівобережна притока р. Дніпро першого порядку, яка впадає на відстані 894 км від гирла, на 10 км вище по течії від Києва. Загальна довжина Десни в межах України — 575 км, з яких 70 км — протяжність на території Київської області, 468 км — на території Чернігівської області, 37 км — по межі Чернігівської та Сумської областей [6].

ГІС водних ресурсів Чернігівської області (ГІС ВР) розроблено за допомогою ГІТ згідно з вимогами до технічних і програмних засобів ведення цифрових картографічних шарів [7]. З позиції ГІТ, ГІС ВР створено як розподілену інтегровану ГІС з використанням проблемно орієнтованих і предметно-

орієнтованих баз даних. Відмітна риса ГІС ВР — цільова водно-ресурсно-екологічна спрямованість: створення каталогу метаданих розподілених геоінформаційних ресурсів водно-екологічної і суміжних тематик, а також відкритість і розвиток системи з перспективою включення в неї результатів математичного моделювання, поповнення даними натурних спостережень, довідково-емпіричною інформацією. Для території області сформовані тематичні бази даних (рис. 2) і фонд картографічних матеріалів, що містить різноманітні статистичні, емпіричні та фактографічні дані, які дають змогу схарактеризувати й оцінити стан водних об'єктів регіону.

Основним завданням розробки ГІС ВР є створення інструментарію для ухвалення управлінських рішень з метою аналізу стану якості води в річних басейнах та моделювання сценаріїв негативного впливу повеней на території області.

Оперативність в ухваленні управлінських рішень в екстремальних ситуаціях завдяки сучасним ГІТ дуже важлива як для служб з надзвичайних ситуацій, так і для пересічних мешканців.

Інвентаризація небезпечних з точки зору екстремальних ситуацій антропогенних і природних об'єктів потрібна для урахування потенційно небезпечного впливу таких об'єктів при пошуку місць розташування нових об'єктів, чутливих до їх впливу [8–10].

Під час паводків і повеней рідкої повторюваності в зони затоплення можуть потрапляти житлові

будинки і виробничі споруди, що призводить до значних матеріальних збитків. У зв'язку з цим великий практичний інтерес становить визначення зон можливого затоплення і складання переліку об'єктів, які можуть бути затоплені з різною ймовірністю.

Побудова прогнозної моделі зони затоплення передбачає декілька етапів (рис. 3).

Величина зони затоплення залежить від двох змінних — рельєфу і гідрологічних показників водного об'єкта, тому на першому етапі важливо дослідити рельєф території. На другому етапі для моделювання зони затоплення необхідно мати дані щодо основних гідрологічних показників досліджуваного водотоку (режим, витрати, рівень води тощо), після чого розраховують параметри моделі. Третій етап — безпосередньо моделювання за отриманими розрахунковими даними. Заключна частина роботи — аналіз моделі зони можливого затоплення і виявлення наслідків підвищення рівня води.

Застосування ГІТ і ЦМР дало змогу значною мірою автоматизувати цей процес.

Визначення меж зон можливого затоплення — одна зі стандартних прикладних гідрологічних задач, яку вирішують засобами ГІС. На сьогодні розроблено кілька методів визначення зон затоплення, які забезпечують різну точність обчислень. Ми розглянули метод, який має найбільше практичне застосування, — метод перевишень. При використанні цього методу похили водної поверхні при підвищен-



Рис. 1. Гідрографічна мережа Чернігівської області  
Fig. 1. The hydrographic network of Chernihiv region

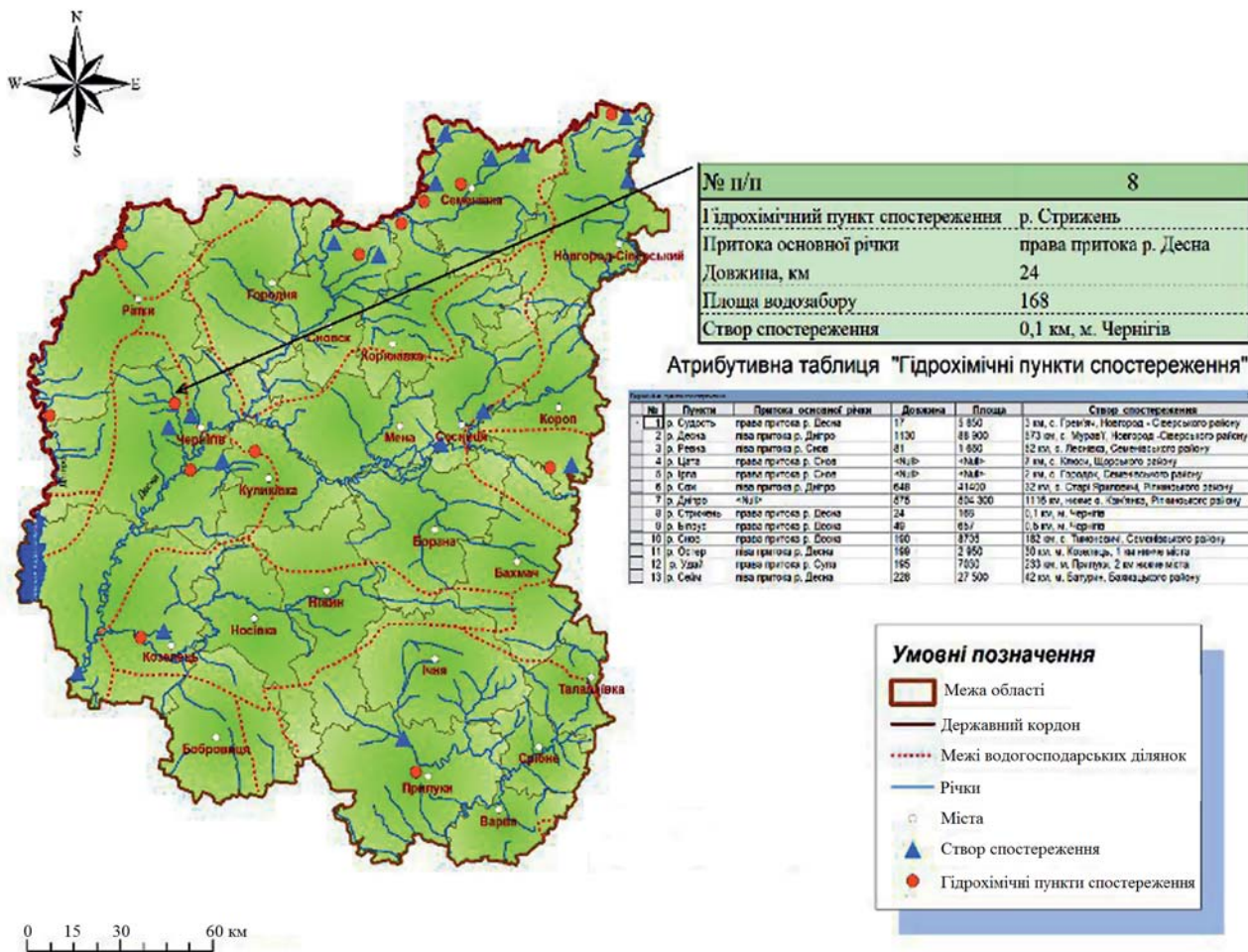


Рис. 2. Приклад тематичної бази даних «Гідрохімічні пункти спостереження»  
 Fig. 2. Example of thematic database «Hydrochemical observation points»

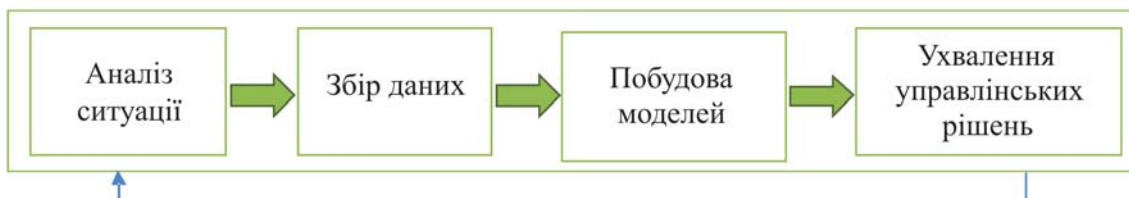


Рис. 3. Етапи побудови прогностичної моделі затоплень території  
 Fig. 3. Stages of building a predictive model of flooding

ні рівнів води передбачають тотожними похилам водної поверхні, які отримують за картографічною інформацією на головному руслі річки.

У межах запропонованого дослідження поставлено мету за допомогою ГІТ змодельовати затоплення територій Чернігівської області від повеней та оцінити їх наслідки.

В процесі реалізації проекту було досліджено територію Чернігівської області, де тече р. Десна — ліва притока Дніпра, рівень води в якій час від часу підвищується до критичних позначок, що призводить до негативних наслідків у господарському комплексі області.

Модельовання затоплень проведено за допомогою програмного забезпечення ArcGIS 10.2 і цифрової моделі рельєфу [8]. Для побудови ЦМР використано глобальну ЦМР SRTM DEM v4.

З глобальних даних щодо рельєфу був вирізаний фрагмент досліджуваної території (рис. 4), потім вихідні дані були перераховані у поверхню рельєфу TIN (нерегулярну триангуляційну мережу), складену з непересічних трикутників різного розміру (рис. 5).

Поверхня кожного трикутника, вершинами якого слугують точки з відомими координатами  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , є площиною.

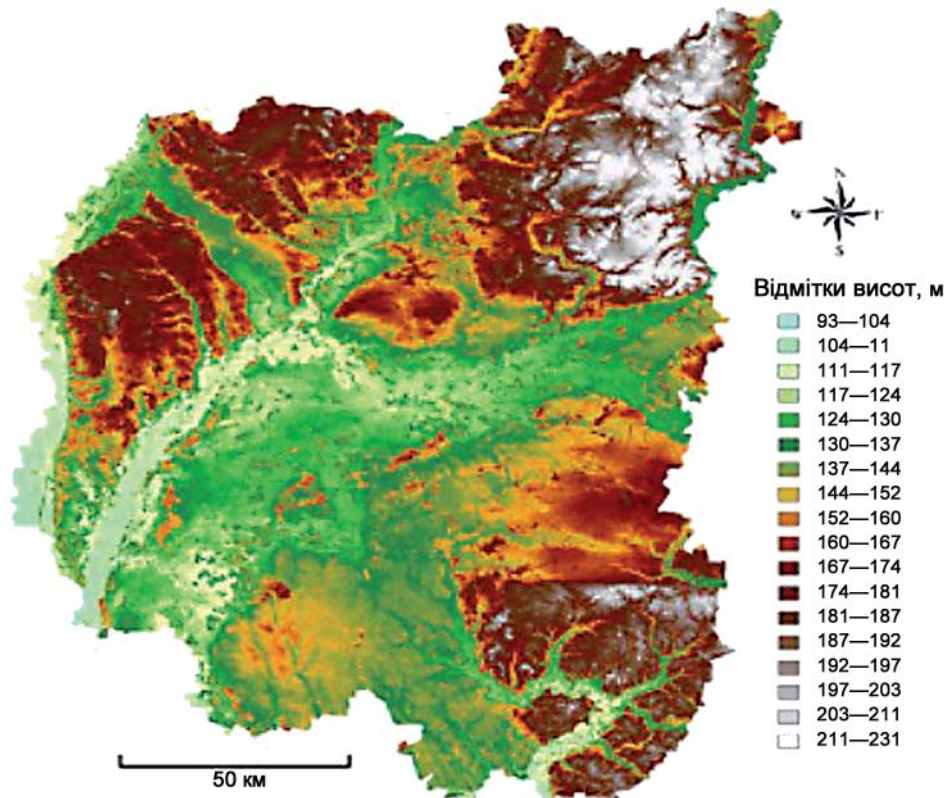


Рис. 4. Цифрова модель рельєфу для території Чернігівської області за результатами обробки даних SRTM DEM v4

Fig. 4. DEM for the territory of Chernihiv region, obtained from the results of data processing SRTM DEM v4

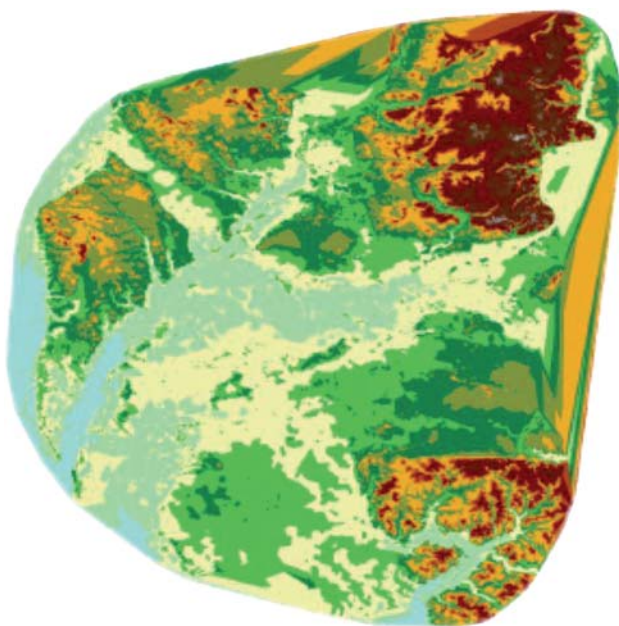


Рис. 5. TIN-поверхня рельєфу на територію Чернігівської області, перерахована з цифрової моделі рельєфу

Fig. 5. TIN-surface relief on the territory of the Chernihiv region listed from the DEM

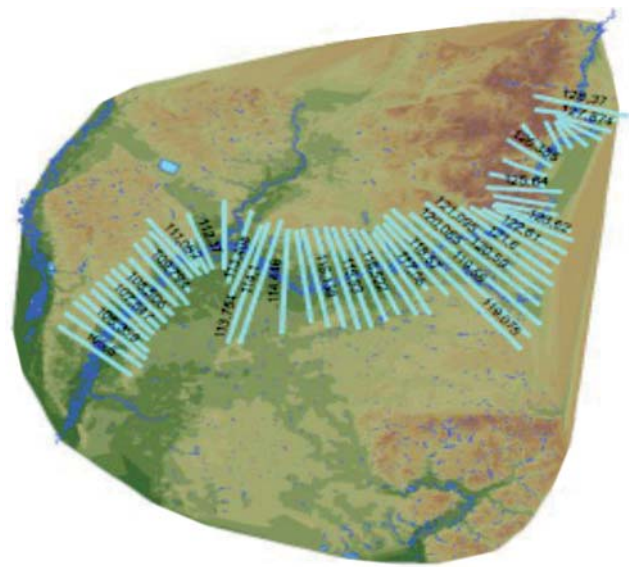


Рис. 6. TIN-поверхня, що імітує площину води в р. Десна на територію Чернігівської області

Fig. 6. TIN surface that simulates the water plane of the Desna River in Chernihiv region

Необхідною умовою для моделювання повеней і оцінювання площі затоплень є побудова поверхні, що імітує поверхню води в річці. Для цього створено

нову лінійну тему поперечних перерізів русла річки (рис. 6), проведених через кожні 6 км. Положення водної поверхні перед паводком задавали за від-

*Рівні води (м) у поперечних перерізах при затопленні різною забезпеченістю*  
*The levels of the water (m) at cross sections for different security flooding*

ID	Рівень забезпеченості води, %				
	1	5	10	25	50
1	128,37	127,1	126,65	126,13	125,67
2	128,122	126,9	126,454	125,925	125,451
3	127,874	126,7	126,257	125,721	125,232
4	127,625	126,5	126,061	125,516	125,013
5	127,377	126,3	125,865	125,312	124,794
6	127,129	126,1	125,668	125,107	124,575
7	126,881	125,9	125,472	124,903	124,355
8	126,633	125,7	125,275	124,698	124,136
9	126,385	125,5	125,079	124,494	123,917
10	126,136	125,3	124,883	124,289	123,698
11	125,888	125,1	124,686	124,085	123,479
12	125,64	124,9	124,49	123,88	123,26
13	125,135	124,418	124,019	123,416	122,798
14	124,63	123,936	123,548	122,952	122,336
15	124,125	123,454	123,076	122,489	121,874
16	123,62	122,973	122,605	122,025	121,412
17	123,115	122,491	122,134	121,561	120,951
18	122,61	122,009	121,662	121,098	120,489
19	122,105	121,527	121,191	120,634	120,027
20	121,6	121,045	120,72	120,17	119,565
21	121,095	120,563	120,249	119,706	119,103
22	120,59	120,081	119,777	119,243	118,641
23	120,085	119,599	119,306	118,779	118,179
24	119,58	119,118	118,835	118,315	117,717
25	119,075	118,636	118,364	117,851	117,256
26	118,57	118,154	117,893	117,387	116,794
27	118,065	117,672	117,421	116,924	116,332
28	117,56	117,19	116,95	116,46	115,87
29	117,214	116,815	116,55	116,048	115,447
30	116,868	116,441	116,15	115,636	115,023
31	116,522	116,066	115,75	115,224	114,6
32	116,176	115,691	115,35	114,812	114,177
33	115,83	115,317	114,95	114,4	113,753
34	115,484	114,942	114,55	113,988	113,33
35	115,138	114,567	114,15	113,576	112,907
36	114,792	114,193	113,75	113,164	112,483
37	114,446	113,818	113,35	112,752	112,06
38	114,1	113,443	112,95	112,34	111,637
39	113,754	113,069	112,55	111,928	111,213
40	113,408	112,694	112,15	111,516	110,79
41	113,062	112,319	111,75	111,104	110,367
42	112,716	111,945	111,35	110,692	109,943
43	112,37	111,57	110,95	110,28	109,52
44	111,941	111,172	110,561	109,912	109,176
45	111,511	110,774	110,173	109,545	108,832
46	111,082	110,376	109,784	109,177	108,489
47	110,652	109,978	109,395	108,81	108,145
48	110,223	109,579	109,006	108,442	107,801
49	109,794	109,181	108,618	108,075	107,457
50	109,364	108,783	108,229	107,707	107,114
51	108,935	108,385	107,84	107,34	106,77
52	108,506	107,987	107,451	106,973	106,426
53	108,076	107,589	107,063	106,605	106,082
54	107,647	107,191	106,674	106,238	105,739
55	107,217	106,793	106,285	105,87	105,395
56	106,788	106,394	105,896	105,503	105,051
57	106,359	105,996	105,507	105,135	104,707
58	105,929	105,598	105,119	104,768	104,364
59	105,5	105,2	104,73	104,4	104,02

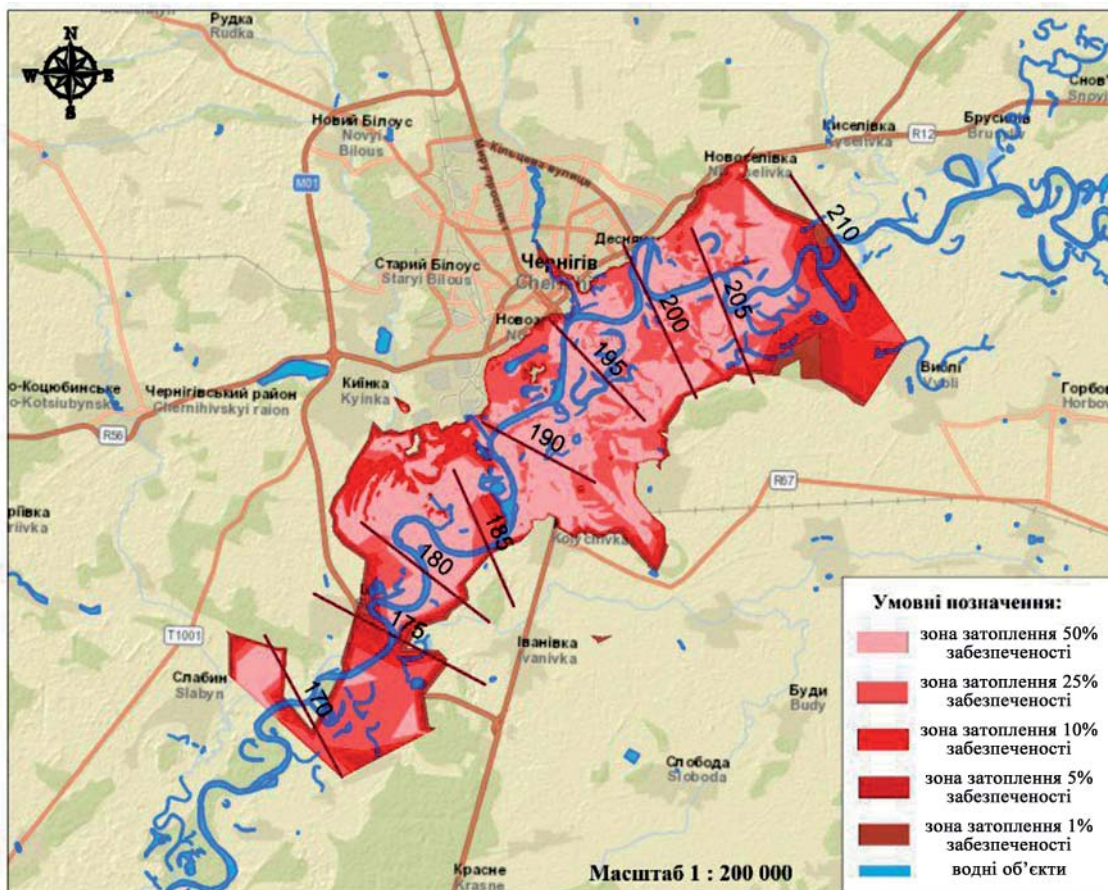


Рис. 7. Фрагмент сценаріїв затоплень міста Чернігова та Чернігівського району річкою Десна за різних умов забезпеченості

Fig. 7. Fragment of scenarios of flooding of the city of Chernihiv and Chernihiv region by the Desna River

мітками урізу води в річці у кожному поперечному перерізі (див. таблицю).

За відсутності інформації про уріз води в поперечному перерізі задавали значення урізу води, що дорівнювали значенням висот в осередках сітки рельєфу, в місцях перетину з береговою лінією. Далі з ліній перетинів створювали поверхню TIN.

Побудована поверхня, що імітує водну поверхню, є базовою для подальших розрахунків площі затоплення населених пунктів Чернігівської області. Для обчислень територій затоплення використовували опцію «Різниця TIN» модуля 3D Analyst, де вихідною була поверхня, що імітувала поверхню води в річці, а базовою — поверхня рельєфу TIN.

У результаті віднімання двох поверхонь отримано зони затоплення території Чернігівської області р. Десна і розраховано території затоплення під значення підвищення рівня води 1, 5, 10, 25 і 50 % забезпеченості. Як приклад, на рис. 7 показано фрагмент сценаріїв затоплень м. Чернігів та Чернігівського району.

**Висновки.** За результатами виконаного проекту створено прогнозну цифрову модель з можливістю візуального та розрахункового оцінювання площ і об'єктів під час повеней різної забезпеченості, а

також отримано інформацію про будівлі та об'єкти комунальної власності, що потрапляють у розраховані зони затоплення.

Електронна карта з тематичними шарами зон затоплення під час повеней великої забезпеченості має практичне значення. Її використання дає змогу оцінювати повеневу ситуацію в період водопілля високої забезпеченості, а органам місцевого самоврядування в разі виникнення загрози затоплення територій населених пунктів ухвалювати оперативні управлінські рішення з проведення попереджувальних протиповеневих заходів.

На підставі отриманих результатів є можливість у подальшому розраховувати втрати від затоплення з використанням кадастрових та інших даних, таких як кількість постраждалого населення, кількість будівель, комунікацій і даних землекористування, що потрапили в зону затоплення і зазнали втрат тощо.

#### Список бібліографічних посилань

1. Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу [Електронний ресурс]. Київ: Держ. служба геології та надр України, Держ. наук.-виробн. підприємство «Державний інформаційний геологічний



- фонд України», 2010—2016 рр. Вип. VII—XII. Режим доступу: [www.geoinf.kiev.ua](http://www.geoinf.kiev.ua).
- Бурштинська Х.В. Використання ГІС-технологій для визначення динаміки гідрологічних змін рік. Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. Львів: Ліга-прес, 2003. С. 205—210.
  - Зацерковний В.І., Тустановська Л.В. Геоінформатика. Ніжин: Вид-во НДУ ім. М. Гоголя, 2018. 467 с.
  - Зацерковний В.І., Тішаєв І.В., Віршило І.В., Демидов В.К. Геоінформаційні системи в науках про Землю. Ніжин: Вид-во НДУ ім. М. Гоголя, 2016. 510 с.
  - Зацерковний В.І. Моделі, методи та програмно-технічні засоби геоінформаційної підтримки прийняття рішень у системах управління територіями: дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06. НАН України. Ін-т проблем математичних машин і систем. Київ, 2013. 495 с.
  - Зацерковний В.І., Бурачек В.Г., Железняк О.О., Терещенко А.О. Геоінформаційні системи і бази даних: монографія. Кн. 2. Ніжин: Вид-во НДУ ім. М. Гоголя, 2017. 237 с.
  - Трофимчук О.М., Яковлев О.Я., Загорчевна Н.Б. та ін. Регіональне підтоплення міст та селищ України як фактор її національної безпеки. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. 2003. № 6. С. 12—23.
  - Шищенко О.І., Зацерковний В.І., Богославський М.Д. Застосування ГІС та ДЗЗ для аналізу процесів підтоплення. Міжнародна конференція «Геоінформатика — інноваційний погляд на землю». 2017.
  - Шищенко О.І., Зацерковний В.І., Плічко Л.В. Геоінформаційна система «Індексований водний фонд Чернігівської області». Міжнародна конференція «Геоінформатика — теоретичні та прикладні аспекти». Київ, 2018.
  - Борщ С.В., Асарин А.Е., Болгов М.В., Полунин А.Я. Наводнення. Режим доступу: [http://downloads.igce.ru/publications/metodi\\_osenki/03.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/metodi_osenki/03.pdf). (дата звернення 03.01.2019).

*Надійшла до редакції 31.01.2019 р.*

## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗАТОПЛЕНИЙ ТЕРРИТОРИЙ

*В.И. Зацерковный, Л.В. Пличко, О.И. Шищенко*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ «Институт геологии», ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина, e-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com, PlichkoL@ukr.net, oksana.shyshenko@gmail.com*

Активизация экзогенных геологических процессов за последние десятилетия на территории Украины в связи с глобальными изменениями климата, наступлением циклических периодов увеличения количества осадков и повышения уровня подземных вод, чрезмерным зарегулированием рек водохранилищами и прудами, неудовлетворительным функционированием или отсутствием в населенных пунктах сливной канализации, дренажа и других систем водоотвода, неконтролируемым орошением приусадебных участков стала реальной угрозой населению и объектам хозяйствования. В связи с изложенным выше появилась острая необходимость своевременного прогнозирования их возникновения, направленного на предотвращение человеческих потерь и уменьшения ущерба, ими наносимого. Моделирование затоплений территории в периоды наводнений дает возможность оценивать общую геоэкологическую ситуацию, связанную с инженерно-гидроэкологическими особенностями территории. Оценка риска затопления территории позволяет планировать рациональное использование прирусловых территорий, что способствует их устойчивому развитию.

Использование современных методов пространственного анализа на основе геоинформационных технологий дает возможность решать задачи накопления, хранения, обновления и анализа любой пространственно-временной информации, в том числе гидрологической, гидрогеологической и инженерно-геологической. Способность современных геоинформационных систем обрабатывать такую информацию позволяет строить прогнозные модели, создавать сценарии возможных ситуаций для быстрого и научно обоснованного принятия решений. Научно обосновано геоинформационное моделирование и прогнозирование развития наводнений для смягчения их негативного влияния с помощью геоинформационных технологий. Рассмотрены возможности и показаны основные направления использования геоинформационного моделирования при прогнозировании и визуализации затоплений территорий. Описано использование программного обеспечения ArcGIS в алгоритмах моделей геообработки для решения задач прогнозирования затоплений как инструмента быстродействующего и наглядного экспресс-анализа.

**Ключевые слова:** геоинформационные технологии, моделирование, прогнозирование, наводнения, ArcGIS.

## APPLICATIONS OF GEOINFORMATION TECHNOLOGIES IN PROBLEMS OF MODELING AND FORECASTING FLOODING OF TERRITORIES

*V.I. Zatserkovnyi, L.V. Plichko, O.I. Shyshenko*

*Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv, 90 Vasylkivska str., Kyiv 03022, Ukraine, e-mail: vitallii.zatsekovnyi@gmail.com, PlichkoL@ukr.net, oksana.shyshenko@gmail.com*

**Purpose.** Activation of exogenous geological processes in recent decades that occur on the territory of Ukraine due to global climate change, the onset of cyclical periods of increasing precipitation and rising groundwater levels, excessive

regulation of rivers by reservoirs and ponds, poor performance or lack of drainage systems in settlements and drainage systems, uncontrolled irrigation of household plots and has become a real threat to the population and management.

**Desing/methodology/approach.** Modeling of the flooding territory during periods of flooding makes it possible to assess the general geo-ecological situation related to the engineering and hydro-ecological peculiarities of the territory. The risk assessment of the flooding of the territory makes it possible to plan the rational use of the near-river areas, which contributes to their sustainable development.

**Findings.** The use of modern methods of spatial analysis based on geo-information technologies (GIT) makes it possible to solve problems of accumulation, storage, updating and analysis of any spatial and/or temporal information, including hydrological, hydrogeological and engineering-geological. Possessing the ability to process such information, modern GIS allow building predictive models, creating scenarios of possible situations for quick and scientifically based decision making. The scientific rationale of geoinformation modeling and flood development forecasting to mitigate their negative impact using GIT is presented.

**Practical value/implications.** The possibilities are presented and the main directions of the use of geo-information modeling in forecasting and visualization of flooding areas are shown. The use of ArcGIS software in algorithms of geoprocessing models for solving problems of flood forecasting as a tool for quick and visual express analysis is described.

**Keywords:** geo-information technologies, modeling, forecasting, floods, ArcGIS.

## References

1. Informatsiynyi schorichnyk schodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzogennykh geolohschnykh protsesiv za danymy monitoryngu [Elektronnyi resyrs]. Kyiv: Derzhavna sluzhba geologii ta nadr Ukrainy, Derzhavne naykovo-vyrobnyche pidpryemstvo 'Derzhavnyi snformatsiynyi geologichnyi fond Ukrainy'. 2010—2016. Vyp. VII—XII. Available at: [www.geoinf.kiev.ua](http://www.geoinf.kiev.ua) [in Ukrainian].
2. Burshtynska H.V. Vykorystannay HIS-tehnologiy dlay vyznachennay dynamiky gidrologichnykh zmin rik. Suchasni dosayh-nennay geodezychnoi nauky ta vyrobnytstva. Lviv: Liga-pres, 2003. P. 205—210.
3. Zatserkovnyi V.I., Tustanovska L.V. Geoinformatics. Nezhin, Ukraine, 2018. 467 p.
4. Zatserkovnyi V., Tishaev I.V., Virchilo I.V., Demidov V.K. Geoinformation Systems in the Earth Sciences. Nezhin, Ukraine, 2016. P. 435—456.
5. Zatserkovnyi V.I. Modeli, metody ta programno-tehnichni zasoby heoinformatsiynoi pidtrymky pryinyattay rishen u systemah upravlinnya terytoriyamy: dys. ... d-ra tehn. nauk: 05.13.06. Kyiv, 2013. 495 p. [in Ukrainian].
6. Zatserkovnyi V.I., Burachek V.G., Zheleznyak O.O., Tereschenko A.O. Geoinformatsiyni systemy i bazy danyh: monografiya. Kn. 2. Nezhin, Ukraine, 2017. 237 p.
7. Trofymchuk O.M., Yakovlev O.Ya., Zakorchevna N.B. Regionalne pidtoplennya mist ta selysch Ukrainy, yak factor ii natsionalnoi bezpeky. *Ekologiya dovkillya ta bezpeka zhyttediyalnosti*. 2003. N 6. P. 12—23 [in Ukrainian].
8. Shyshenko O., Zatserkovnyi V., Bogoslavskiy M. Application of GIS and RS for the analysis of flooding processes. *Geoinformatics: theoretical and applied aspects. International Conference*. Kyiv, 2017.
9. Shyshenko O., Zatserkovnyi V.I., Plichko L.V. Geoinformatsiyna systema 'Indeksovanyi vodnyi fond Chernihivskoi oblasti'. *Geoinformatics: theoretical and applied aspects. International Conference*. Kyiv, 2018 [in Ukrainian].
10. Borsch S.V., Asaryn A.E., Bolhov M.V., Polunin A.Y. Navodnenie. Available at: [http://downloads.igce.ru/publications/metodi\\_ocenki/03.pdf](http://downloads.igce.ru/publications/metodi_ocenki/03.pdf) (Accessed 03 January 2019) [in Russian].

Received 31/01/2019