



О. Я. Кравець

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, Україна

ПРОГНОЗНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ФОРМУВАННЯ ПАВОДКОВИХ СТОКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглянуто проблему моделювання процесів виникнення паводкового стоку та його прогнозування. Розглянуто та проаналізовано основні природні та антропогенні чинники виникнення паводків. Виконано аналіз наявних наукових досліджень у галузі прогнозування та моделювання гідрологічних процесів і явищ, внаслідок якого зроблено висновок, що прогнозні моделі загалом будують на підставі аналізу ходу паводку та географічних особливостей русел річок і, тільки в окремих випадках, на підставі аналізу опадів без урахування інформації про поточний стан ґрунтів та рослинний покрив. Запропоновано здійснювати аналіз можливості виникнення та моделювання ходу паводка із застосуванням геоінформаційних технологій. Обґрунтовано потребу врахування низки ключових параметрів під час складання моделі прогнозування формування паводкового стоку: максимальний кут нахилу поверхні землі та напрям формування можливого поверхневого стоку, вологість рослинного покриву та ґрунтового покриву, тип підстильної поверхні, кількість опадів та поточна вологість. В основу запропонованого підходу покладено припущення, що паводковий стік – це надлишок рідких опадів, який не може бути увібраний ґрунтами та рослинним покривом. Визначено перелік завдань, які потрібно вирішити для реалізації запропонованого підходу. Для моделювання паводкового стоку запропоновано поділити площу водозбору на як завгодно малі (розмір обмежений тільки наявними обчислювальними ресурсами) елементи правильної геометричної форми з однаковими (відхилення не більше 10 %) ключовими параметрами моделі. Розрахунки об'ємів паводкового стоку будуть виконуватись для цих окремих елементів водозбору. Поверхневий стік у кожному окремому елементі запропоновано розраховувати як суму об'ємів стоків із сусідніх елементів (за наявності) та кількості опадів, мінус об'єм води, що поглинається ґрунтом та рослинним покривом. Запропоновано модель такого поділу для частини села Угринів Івано-Франківського району Івано-Франківської області. З використанням пакета програм Surfer побудовано цифрову модель рельєфу цієї території, що дає змогу візуалізувати напрям формування можливого поверхневого стоку. На підставі ЦМР створено карту крутизни схилів, що є джерелом інформації про максимальний кут нахилу в кожній точці цифрової моделі рельєфу. Наведено класифікацію ґрунтів з погляду їх вологісткості та водопроникності. Розглянуто та охарактеризовано типи підстильних поверхонь (рілля, населені пункти, водні об'єкти, ліси, чагарники, луки). Запропоновано алгоритм оброблення даних на підставі метеорологічного прогнозу. Окреслено завдання, вирішення яких передбачає реалізація запропонованої моделі. Запропонована модель може стати основою для розроблення спеціалізованого програмного забезпечення, яке дасть можливість прогнозувати паводки.

Ключові слова: цифрова модель рельєфу; паводок; водозбір; водопоглинання ґрунту; опади.

Вступ / Introduction

Паводок – це фаза гідрологічного режиму річки, для якої характерне швидке підвищення рівня води в річці під час тривалих опадів або інтенсивного сніготанення в період відлиги. Розрахунок і прогноз паводкового стоку є одним з найактуальніших завдань у гідрології. Створення прогнозної моделі та програмного забезпечення, з допомогою якого можна визначати об'єми стоку, площі затоплення на підставі вихідних характеристик території та комплексу даних метеорологічних спостережень дасть змогу проєктувати та впроваджувати адекватні заходи з реагування на виникнення паводків, а також запобігати можливим катастрофічним наслідкам цієї стихії.

Особливо актуальною ця проблема є для Карпатського регіону. Аналіз даних гідрометеорологічних спос-

тережень і літературних джерел свідчить, що за останні 100-120 років тут відбулося понад десятків найбільших (за рівнем підвищення води) і катастрофічних (за руйнівними наслідками) паводків.

Паводки в долині Дністра виникають під дією складного комплексу взаємопов'язаних природних та антропогенних чинників. Основними природними чинниками паводків є кількість, інтенсивність, тривалість випадання атмосферних опадів, а також величина території, охопленої дощами, на якій спостерігається формування поверхневого стоку води, стрімкість схилів, стан рослинного покриву, властивості ґрунтів і гірських порід. Головними антропогенними чинниками виникнення паводків є зміна характеру рослинного покриву внаслідок вирубування лісів, розорювання схилів угідь, надмірного випасання худоби, внаслідок чого відбувається ущільнення ґрунтового покриву та частко-

Інформація про автора:

Кравець Олена Ярославівна, канд. техн. наук, доцент, кафедра геодезії та землеустрою.

Email: olenakravets9@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0001-7861-0640>

Цитування за ДСТУ: Кравець О. Я. Прогнозне моделювання процесів формування паводкових стоків з використанням геоінформаційних технологій. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 3. С. 120–129.

Citation APA: Kravets, O. Ya. (2025). Predictive modeling of flood runoff formation processes using geoinformation technologies. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(3), 120–129. <https://doi.org/10.36930/40350313>

ва деvegetація, зміна стану річищ тощо [14].

Об'єкт дослідження – комп'ютерне формування паводкових стоків.

Предмет дослідження – методи і засоби прогнозування процесів комп'ютерного формування паводкових стоків, що дасть змогу визначати ділянки можливого затоплення та запобігти гуманітарним та економічним збиткам.

Мета роботи – розробити методика прогнозного моделювання процесів формування паводкових стоків з використанням геоінформаційних технологій, що дасть змогу створити універсальне програмне забезпечення для моделювання кризових гідрологічних ситуацій на будь-якій території.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- проаналізувати наявні наукові дослідження в галузі прогнозування та моделювання гідрологічних процесів і явищ, що дасть змогу запропонувати досконаліший підхід до складання прогнозів виникнення паводків;
- визначити та охарактеризувати ключові параметри, які визначають процес формування та перебіг паводку, що дасть можливість розробити якісну прогнозну модель;
- розробити алгоритм оброблення даних, за яким виконуватиме обчислення запропонована модель прогнозування;
- визначити перелік завдань, вирішення яких дасть можливість реалізувати запроповану модель прогнозування паводкового стоку.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема прогнозування паводків є предметом наукових досліджень впродовж багатьох десятиліть. На сучасному етапі розвитку науки та технічного оснащення для збирання, нагромадження, аналізу, оброблення великого обсягу даних, необхідних для складання гідрологічних прогнозів, відкриваються перспективи вирішення цього завдання із застосуванням геоінформаційних технологій для оперативного реагування на кризові ситуації та запобігання людським та матеріальним втратам.

Автори роботи [3] пропонують здійснення прогнозування паводків у долині Дністра за допомогою гідрологічного моделювання за цифровою моделлю рельєфу, яке виконують за даними про тип русла річки та заплави, гідрометрією рівнів води, які розраховані за вибраною гідрологічною моделлю. Розрахунки гідрологічної моделі та визначення площ затоплення пропонують виконувати з використанням геоінформаційних технологій, цифрового моделювання рельєфу, БПЛА-технологій.

У дослідженні автора [19] запропоновано методика прогнозування гідрологічних характеристик весняного водопілля, зокрема шарів стоку та максимальних витрат води, в басейні р. Південний Буг. Оцінювання можливості їх настання у багаторічному періоді здійснюють на підставі використання операторної моделі формування типових гідрографів водопілля і паводків та прогнозного методу з урахуванням діагнозу типу водності майбутнього водопілля.

У праці [12] пропонують використовувати методи геоінформаційних технологій, гідрологічні та морфометричні дані для здійснення динамічного картографічного моделювання, результатом якого є інформація про особливості виникнення та перебігу паводків у долині Дністра, візуалізація зон затоплення та місць потенційного розмивання гребель. Результати такого моделювання демонструють високий рівень відповідності розрахованих і реальних параметрів паводків, що свід-

чить про придатність геоінформаційного моделювання для вирішення практичних проблем протипаводкового захисту.

У роботі [17] обґрунтовано створення сучасної автоматизованої системи наземних гідрометеорологічних спостережень, збирання та отримання даних, які дають змогу створювати гідродинамічні моделі з використанням ГІС-технологій в реальному часі і з необхідною повнотою. Такі моделі здатні описувати перебіг паводків у просторі і часі по всій течії річки, здійснювати прогнозування у вигляді зон імовірних затоплень.

У праці [7] виконано оцінювання ризику потужних повеней, які виникають внаслідок одночасної дії сильних дощів і штормових нагонів. Автори зазначають, що детальне моделювання таких подій за допомогою гідродинамічних моделей високої точності може бути надто ресурсозатратним. Тому існує потреба в ефективних імовірнісних методах оцінювання ризику виникнення повеней особливо в наш час змін клімату, які можна було б застосовувати в різних кліматичних та екологічних умовах.

У дослідженні [20] розглянуто системи гібридного гідрокліматичного прогнозування, які поєднують прогнози, отримані з динамічних фізичних моделей, з методами машинного навчання. Такі системи використовують переваги обох підходів, уникаючи недоліків традиційного моделювання. Розвиток цих систем зумовлений прогресом у прогнозуванні погоди та клімату, розвитку штучного інтелекту та доступності потужних обчислювальних ресурсів. Перевагами цих систем є уникнення необхідності складного моделювання, мінімізація похибок динамічних моделей, використання переваг машинного навчання та інтеграція різних джерел інформації.

У роботі [15] проаналізовано сучасний стан моделювання паводків, наявні проблеми, а саме – обмеження у доступності та якості даних, непередбачуваність природних процесів і складність самих моделей, та окреслено можливі напрями майбутнього розвитку цієї галузі науки. У рамках дослідження розглянуто широкий спектр підходів до моделювання, починаючи від традиційних гідрологічних, гідравлічних та числових моделей, і закінчуючи моделями опадів-стоку. Значну увагу приділено застосуванню таких технологій, як дистанційне зондування землі та геоінформаційні системи (ГІС), які відіграють важливу роль у збиранні та аналізі просторових даних, потрібних для моделювання, а також методів штучного інтелекту та машинного навчання, які відкривають нові можливості для підвищення точності та ефективності прогнозів.

У дослідженні [8] для моделювання процесів формування паводкового стоку у водозборі Гілорт (Румунія) було застосовано систему гідрологічного моделювання HEC-HMS. Модель паводку було розроблено з використанням щоденних даних про кількість опадів, зібраних з різних дощомірних станцій. Для побудови гідрологічної моделі використовували інструмент HEC-GeoHMS та цифрову модель рельєфу. Оцінювання паводкового стоку за допомогою статистичних показників продемонструвало кореляційний зв'язок між даними моделі та результатами метеоспостережень. Отримані статистичні параметри свідчать про надійність моделі HEC-HMS для досліджуваного водозбору. Результати дослідження можна використати для розроблення систем протипаводкового захисту в цьому регіоні.

У праці [1] запропоновано поєднання застосування геоінформаційних систем і даних дистанційного зондування землі з відкритих джерел для аналізу та прогнозування повеней у районі дамби Ваді-Бейш (Саудівська Аравія). Унаслідок аналізу було виділено п'ять небезпечних зон можливого затоплення, враховуючи зони підвищеного та помірною ризику. Дослідження підтвердило ефективність використання відкритих даних дистанційного зондування та ГІС для управління ризиками повеней у районі дослідження. Автор наголошує на нагальній потребі створення ефективної системи запобігання повеням, інтегрованої з ГІС та пристроями дистанційного зондування, для зменшення потенційних руйнівних наслідків сильних опадів та стоку.

У роботі [5] для моделювання процесів опадів і стоку після сильного дощу 18 грудня 2017 р. у басейні р. Іраван (Філіппіни) застосовано гідрологічну модель HEC-HMS. Для геопросторового аналізу та підготовки вхідних даних для моделі використовували геоінформаційні системи ArcGIS та QGIS. Гідрологічні параметри визначалися на основі карт ґрунтів та землекористування. Для оцінювання загальної ефективності моделі було використано декілька показників, враховуючи процентне відхилення (PBIAS) та коефіцієнт Неша-Саткліффа (NSE). Результати моделювання максимальних витрат та об'єму стоку можна використати для створення ефективної системи прийняття рішень та запобігання повеням в басейні р. Іраван.

У дослідженні [16] оцінено вплив використання фактичних даних про русло річки на точність моделювання паводків у найпосушливішому гірському водозборі Люлінь (Китай). З метою отримання точніших даних про рельєф території дослідження використовували безпілотний літальний апарат (БПЛА), з допомогою якого було отримано детальні дані про рельєф. Для моделювання 26 паводків у період 1982-2016 рр. використовували гідрологічні моделі HEC-HMS та HEC-HMS/HEC-RAS. Результати дослідження показали, що модель HEC-HMS/HEC-RAS краще відображає динаміку паводків, особливо великих, демонструючи підвищення коефіцієнта Неша-Саткліффа NSE. Однак, точність моделювання невеликих паводків є відносно низькою, тому потрібні подальші дослідження для підвищення точності прогнозування паводкового стоку.

Внаслідок аналізу сучасних досліджень, які стосуються проблеми виникнення та прогнозування паводків, можна зробити такі висновки:

- прогнозні моделі наразі будують на підставі аналізу ходу паводку та географічних особливостей русел річок і тільки в окремих випадках на підставі аналізу опадів без урахування інформації про поточний стан ґрунтів та рослинний покрив;
- наявні моделі приблизні, базуються на статистичних даних, яких у цій галузі зібрано недостатньо, або на численних емпіричних допущеннях, що робить їх дуже локальними (прив'язаними до локальних територій);
- не враховують інтенсивних антропогенних змін в навколишньому середовищі;
- наявні системи прогнозування паводків на підставі вимірювальних пунктів та контролю кількості опадів можуть бути ефективні, але дають тільки короткотерміновий прогноз про наближення безпосередньої загрози життю та майну людей, що є недостатнім;
- точніший підхід з використанням геоінформаційних технологій дає змогу аналізувати різні можливі сценарії па-

водків, але навряд чи може напряму бути застосованим як інструмент прогнозного моделювання [4, 13].

Отже, застосування геоінформаційних технологій, дистанційного зондування землі, БПЛА-технологій має великий потенціал для вирішення проблеми прогнозування формування паводкового стоку. Водночас, не існує поки уніфікованого підходу до моделювання паводків, який враховував би всі можливі параметри та фактори їх виникнення і міг би бути застосований до будь-якої місцевості.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано методи аналізу та синтезу. Дослідження виконано з використанням ГІС-технологій, які передбачають наявність програмного забезпечення та інформаційних баз даних. У роботі використано пакет програм Surfer.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Сучасні інформаційні засоби дають змогу збирати, нагромаджувати та аналізувати значний обсяг різної інформації. У цьому дослідженні була спроба розробити підходи до створення моделі даних для завдання прогнозування паводків способом найточнішого врахування всіх можливих параметрів і факторів.

Для цього потрібно:

- вибрати ключові параметри, що можуть визначати формування паводкового стоку;
- проаналізувати можливість отримання характеристик параметрів, можливість їх моніторингу та моделювання в умовах недостатнього обсягу інформації;
- розробити модель формування паводкового стоку;
- розробити вимоги до програмного забезпечення для прогнозування паводків.

Можна виділити такі фактори, що визначають процес утворення паводкового стоку: рельєф місцевості, тип підстильної поверхні, кількість та інтенсивність опадів.

Відповідно до наведеного вище, як ключові параметри моделі прогнозування формування паводкового стоку пропонуємо обрати такі параметри: крутизна та напрям схилу, водопроникність ґрунту, вологість ґрунту, тип підстильної поверхні, кількість та інтенсивність опадів.

Максимальний кут нахилу поверхні землі та відповідний напрям формування можливого поверхневого стоку для виділеної частини території з однаковими характеристиками наведено нижче. Його можна визначити методами геодезичних вимірювань, за відповідними картами, з використанням цифрового моделювання рельєфу. На рис. 1 наведено 3D-модель рельєфу з візуалізованими напрямками формування можливого поверхневого стоку, яку було побудовано з використанням пакета програм Surfer. Цифрову модель рельєфу було створено для території села Угринів Івано-Франківського району Івано-Франківської області (48°58'8" пн. ш., 24°39'57" сх. д.). На підставі цієї моделі було також створено карту крутизни схилів (рис. 2), що є джерелом інформації про максимальний кут нахилу в кожній точці цифрової моделі рельєфу.

Водопроникність поверхневого шару ґрунту – здатність пропустити за певний проміжок часу максимальний об'єм вологи так, щоб це не призводило до формування поверхневого стоку. Вона визначатиметься типом

грунту, а також залежатиме від його вологості. Велике значення також мають структурно-агрегатний стан ґрунту та інші його властивості (фізичні, хімічні, механічні). Для території України характерна велика різно-

манітність типів, підтипів, родів, видів, різновидів ґрунтів та будовою приповерхневого шару землі. Наявне різноманіття ґрунтів можна узагальнити такою схемою (рис. 3).

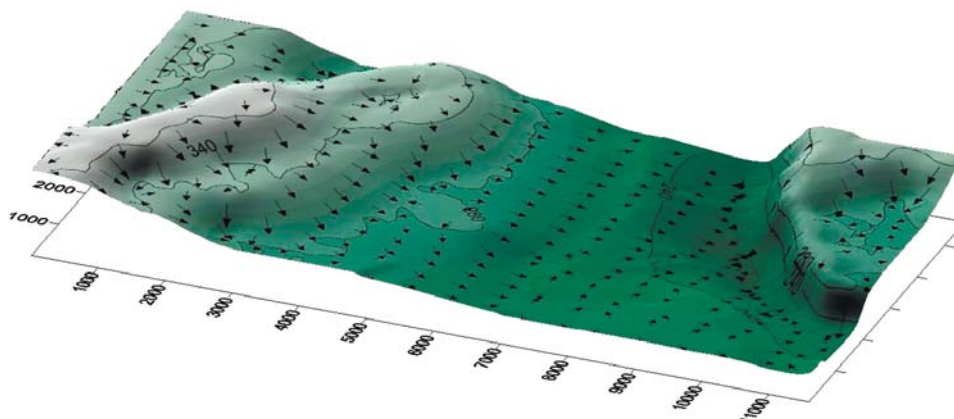


Рис. 1. 3D-модель рельєфу з візуалізованими напрямками можливого поверхневого стоку / 3D terrain model with visualized directions of possible surface runoff

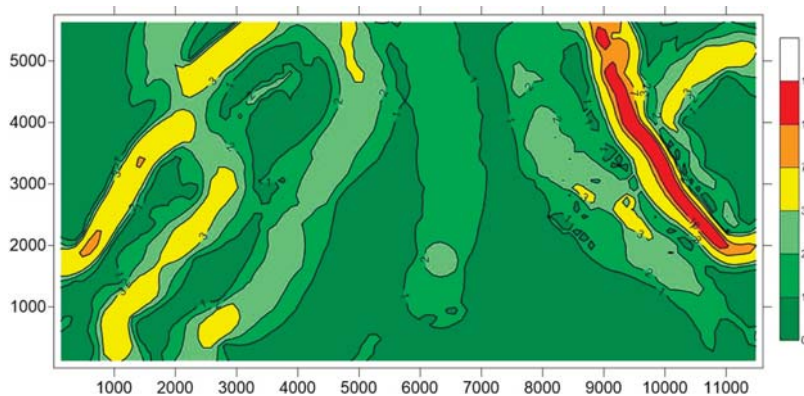


Рис. 2. Карта крутизни схилів / Slope steepness map

Щодо вологовмісту та водопроникності виділяють такі види ґрунтів: піщані (легкі), глинисті (важкі), кам'янисті, торф'яно-болотні, суглинки. Також проникність поверхневого шару ґрунту, як фактор утворення поверхневого стоку, залежатиме від того, чи це дикі (цілинні) землі, чи оброблювані, а у разі оброблюваних земель – розвиток поверхневого стоку може залежати від напрямку оранки.

Отже, потрібно враховувати, що водопроникність ґрунту визначається не тільки його типом, не є сталою величиною, а зазнає постійних змін під впливом кліматичних (сезонні коливання температури повітря, кількість опадів) та антропогенних факторів (залучення земель у сільськогосподарське використання, застосування гідротехнічних меліорацій).

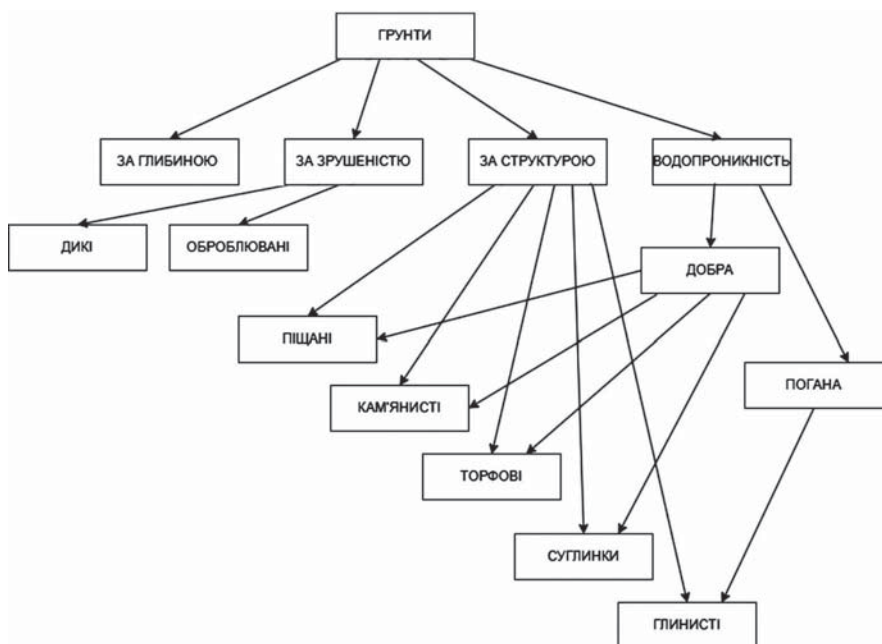


Рис. 3. Класифікація ґрунтів / Soil classification



Рис. 4. Класифікація типів поверхонь / Classification of surface types

Вологість ґрунту та наявного рослинного покриву. Це вкрай важливий параметр у сільському господарстві. При нестачі чи надлишку вологи рослини можуть загинути. Водночас її рівень залежить від багатьох зовнішніх факторів, зокрема від погодних умов та кліматичних змін. Отже, для отримання найкращих результатів важливо знати найбільш ефективні методи визначення вологості ґрунту. Для цього сучасні технічні засоби мають широкий спектр можливостей: від використання традиційних давачів до впровадження сучасних супутникових технологій.

Вологомісткість ґрунту – здатність увібрати певний об'єм вологи за одиницю часу одиницею площі виділеної ділянки. Визначатиметься характеристиками та потужністю ґрунтового шару, типом підстильної поверхні (рілля, населені пункти, водні об'єкти), характером рослинності (ліси, чагарники, луки) тощо. На рис. 4 наведено класифікацію типів поверхонь щодо вбирання ними вологи.

Ліси. Залежно від запасу, може бути розроблена детальна класифікація лісів. Основною класифікаційною ознакою має бути об'єм вологи, яку одиниця площі може ввібрати за одиницю часу. При цьому додатково можна розглядати, яку частину вологи цей тип рослинності може випарувати за той же проміжок часу. Під час розроблення такої класифікації потрібно враховувати тип деревостанів (хвойні, листяні, змішані), а також породу та вік лісових насаджень. Інша визначальна характеристика, яка описуватиме ліс, це кут нахилу ділянки. За умови усередненої швидкості вбирання вологи лісом важливим є чи "встигне" ліс увібрати вологу. Відповідно до цього можна розглядати такі категорії лісів:

- високогірні ліси (карликові форми дерев) на відносно плоских ділянках високогір'я – можуть утримувати мінімальну кількість вологи;
- гірські лісові масиви за значних кутів нахилу (більше 20°) – тільки незначна кількість вологи, залежно від типу підстильної поверхні "встигне" увібратись рослинністю;
- гірські лісові масиви за незначних кутів нахилу – залежно від ґрунтів, вологості, інтенсивності опадів може вбиратись кількість вологи, яка визначається теоретичною місткістю лісів, але це значною мірою залежить від початкових умов;
- гірські лісові масиви на майже плоских ділянках – ймовірно місткість вбирання відрізнятиметься тільки підстильними ґрунтами;
- рівнинні лісові масиви – вбирають максимальну теоретично можливу кількість вологи;
- лісові масиви річкових долин – у межах запропонованого підходу можливими є особливості через значні прояви ерозії, внаслідок чого формування поверхневого стоку може бути в рази більшим за рівнинні лісові масиви;

- лісові масиви із значною часткою антропогенного впливу (парки, сади тощо) – може трактуватись як слабо заліснена територія (чагарники).

Луки. До цієї категорії належать:

- високогірні луки (полонини) – властивості визначаються переважно типом підстильних ґрунтів та об'ємом травостою;
- незаліснені схили чи вирубки на схилах – властивості визначаються типом ґрунту;
- степи, пасовища, луки – властивості визначаються типом ґрунту та об'ємом травостою;
- низькорослі посіви та посадки на сільськогосподарських угіддях – властивості визначаються типом ґрунту;
- сільськогосподарські угіддя із значною потенційною вологозатримною здатністю (соняшник, кукурудза тощо).

Трав'яна рослинність має розвинену кореневу систему, яка сприяє інфільтрації води у ґрунт, збільшуючи його вологомісткість. Щільний трав'яний покрив уповільнює стік води, сприяючи його поглинанню. Трава активно випаровує вологу, і це зменшує кількість води, доступної для формування стоку. Луки формуються на різноманітних типах ґрунтів, але зазвичай сприяють формуванню пухкої структури, яка покращує інфільтрацію. Надмірне випасання худоби може призвести до деградації, ущільнення ґрунту та зменшення інфільтрації, збільшуючи поверхневий стік.

Чагарники. Займають проміжне становище між лугами та лісами. Необхідне врахування типу та густини рослинності. Зокрема, кущі мають глибшу та розгалуженішу кореневу систему порівняно з травами, що сприяє ще більшій інфільтрації та утриманню вологи у ґрунті. Також, чагарники мають більшу біомасу, ніж трави, тому їх евапотранспірація може бути значнішою, особливо в теплий період. Як і луки, чагарники можуть рости на різних типах ґрунтів, але їх коренева система сприяє покращенню структури ґрунту та збільшенню пористості та вологопроникності. Знищення чагарників (наприклад, у разі залучення земель у сільське господарство) призводить до зменшення інфільтрації та збільшення ризику поверхневого стоку.

Водні плеса. До цієї категорії належать річки, озера та стави, мокрі болота. Щодо запропонованого підходу можуть розглядатись як непроникні поверхні – всі опади формують додатковий рівень води, запобігаючи їх швидкому перетворенню на поверхневий стік. З водної поверхні відбувається інтенсивне випаровування, особливо за високих температур та вітру, що може значно зменшити об'єм води у водному об'єкті. Дно водних об'єктів зазвичай утворене водонепроникними або слабопроникними відкладами (глина, мул), що запобігає інфільтрації. Забруднення водних об'єктів може вплинути на їх здатність до самоочищення та регулювання

стоку. Зменшення площі водно-болотних угідь через меліорацію призводить до втрати їхньої здатності затримувати воду.

Населені пункти. Територія населеного пункту є комбінацією непроникних поверхонь (дахи, асфальт, бетон) з елементами, які наведено вище. У межах моделювання пропонуємо розглядати як частково непроникні поверхні з рівномірним розподілом непроникності. Урбанізація є одним з найсильніших факторів, що збільшують поверхневий стік. Каналізаційні системи можуть швидко відводити воду, концентруючи її в певних місцях та збільшуючи пікові витрати. Знищення природної рослинності та зміна рельєфу також впливають на гідрологічний режим.

Кількість та інтенсивність опадів. Визначається на метеостанціях з допомогою дощомірів – вимірювачів рівня опадів.

Для моделювання паводкового стоку пропонуємо поділити площу водозбору на як завгодно малі (розмір обмежений тільки наявними обчислювальними ресурсами) елементи правильної геометричної форми (трикутники, прямокутники) з однаковими (відхилення не більше 10 %) ключовими параметрами моделі. Розрахунки об'ємів паводкового стоку будуть виконуватись для цих окремих елементів водозбору. Кожен елемент описується назвою та координатами вузлів. Для зручності та оптимізації роботи рекомендують також вносити у специфікацію елемента всі сусідні елементи з переліком спільних вузлів [14].

Вигляд такої моделі для частини села Угринів Івано-Франківського району Івано-Франківської області наведено на рис. 5.

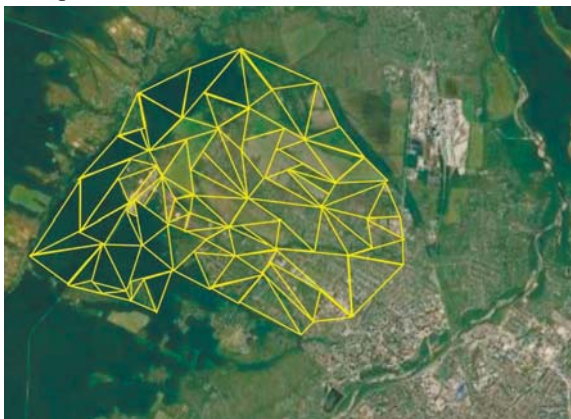


Рис. 5. Приклад виділення елементів водозбору для моделювання паводкового стоку / Example of selecting watershed elements for flood runoff modeling

У таблиці наведено перелік параметрів земної поверхні для моделювання паводкового стоку.

Розглянемо деякі параметри докладніше.

1) Здатність рослинного покриву затримати певний об'єм опадів за одиницю часу за певних характеристик рослинності та інтенсивності опадів. Тут важливо враховувати, як вже було зазначено, початкову вологість рослинності (сухий рослинний покрив може затримати більшу кількість води, ніж уже вологий), тип і структуру рослинності (густий лісовий полог затримає значно більше опадів, ніж низькоросла трава), інтенсивність та тривалість опадів, метеорологічні умови (вітер). Частку затримання опадів рослинним покривом зазвичай визначають у відсотках від загальної кількості опадів або в одиницях об'єму води на одиницю площі.

Таблиця. Параметри земної поверхні для моделювання паводкового стоку / Land surface parameters for flood runoff modeling

Характеристика поверхні	Параметри
Населений пункт чи ні	Частка непроникних поверхонь (0 за межами населених пунктів) – k
Тип рослинного покриву	Здатність рослинного покриву затримати певний об'єм води за відомої початкової вологості за одиницю часу – Vr
	Вологість рослинного покриву на початок інциденту – hr
Ґрунтовий покрив	Здатність ґрунту увібрати певний об'єм води за відомої початкової вологості за одиницю часу – Vs
	Вологість ґрунту на початок інциденту – hs
	Гранична інтенсивність опадів, за якої починає формуватися поверхневий стік на виділеній ділянці незалежно від початкового насичення її вологою – $ptax$
Характеристики стоку в межах елемента	Кут нахилу в межах елемента
	Напрямок стоку в межах елемента
	Грань передачі стоку. Грань, в яку переходить наявний поверхневий стік з елемента в елемент

2) Здатність ґрунту увібрати певний об'єм води за відомої початкової вологості за одиницю часу (інфільтраційна здатність). На інтенсивність інфільтрації впливає гранулометричний склад, структура, початкова вологість ґрунту, наявність органічної речовини та рослинного покриву, температура ґрунту, інтенсивність опадів або поливу. Якщо інтенсивність опадів перевищує інфільтраційну здатність ґрунту, відбувається формування поверхневого стоку. Для визначення інфільтраційної здатності ґрунту застосовують польові та лабораторні методи (кільцеві інфільтрометри, метод дощування, метод ґрунтових колонок тощо). Польові методи дослідження є більш поширеними та репрезентативними для природних умов.

3) Гранична інтенсивність опадів, яка перевищує інфільтраційну здатність ґрунту і за якої починає формуватися поверхневий стік (вимірюють в мм/год). Цей параметр можна розглядати як максимальну інтенсивність опадів, яку виділена ділянка може прийняти без формування поверхневого стоку за будь-яких умов її початкової вологості. Перевищення цього порогу призводить до переповнення інфільтраційної здатності ґрунту та початку стоку.

Під час моделювання паводкових стоків потрібно також враховувати антропогенні фактори та кліматичні зміни, оскільки вони чинять значний вплив на параметри прогнозу моделі. Зокрема ущільнення ґрунту внаслідок дії сільськогосподарської техніки, випасання худоби, будівництва знижує інфільтраційну здатність та збільшує поверхневий стік і ризик ерозії. Вирубування і деградація лісів, розорювання цілинних земель зменшують захист ґрунту від ударів дощових крапель, погіршують структуру ґрунту та зменшують кількість органічної речовини. Це призводить до замулювання поверхневих пор, зниження інфільтрації та збільшення стоку. Перетворення лісів і луків на сільськогосподарські угіддя або міські території змінює гідрологічні властивості ґрунту, часто зменшуючи інфільтрацію. Аналогічно негативно впливає промислове забруднення ґрунтів, нераціональна меліорація, видобуток корисних копалин.

Було розроблено такий алгоритм оброблення даних. Спочатку оцінюють кількість та можливу інтенсивність

опадів на кожній із виділених ділянок на підставі метеорологічного прогнозу. При цьому використовують такі допущення:

- якщо інтенсивність опадів, які мають відбутись, більша за граничну інтенсивність опадів, за якої починає формуватися поверхневий стік на виділеній ділянці незалежно від початкового насичення її вологою (p_{max}), то на цій ділянці розраховують можливе підтоплення з перенесенням стоку на сусідню ділянку;
- якщо об'єм опадів за останній тиждень не менший за сумарний об'єм вбирання ґрунтами і рослинністю виділеного елемента незалежно від поточної вологості всі опади перераховують у можливий поверхневий стік;
- якщо об'єм опадів на виділеному елементі менший за об'єми, які здатна ввібрати рослинність і ґрунти, опади перераховують у наповнення цих об'ємів.

Поверхневий стік розраховують як суму об'ємів стоків із сусідніх елементів (за наявності) та кількості опадів (з урахуванням зазначених допущень) від центра площини виділеного елемента в напрямку максимального кута нахилу до границі з іншим елементом. Для елемента чотирикутника це буде точка перетину його діагоналей. Для трикутника – точка перетину його медіан.

Об'єм стоку в кожному елементі можна визначити за таким виразом [9]:

$$V = \left\{ V_i = V_i^r + \sum_{j=1}^n V_{i,j}^c \Big|_{j \in i} - V_i^s - V_i^p, i = \overline{1, m} \right\},$$

де: m – кількість елементів поверхні стоку; V_i – об'єм стоку з поверхні i -го елемента; V_i^r – об'єм опадів, що припадає на поверхню i -го елемента; $V_{i,j}^c$ – об'єм стоку поверхні сусіднього j -го елемента, що додається до поверхні i -го елемента; V_i^s – об'єм води, що поглинається ґрунтом поверхні i -го елемента; V_i^p – об'єм води, що поглинається рослинним покривом поверхні i -го елемента.

В основу запропонованої методики прогнозування покладено такі допущення.

1. Робота інформаційної системи, яка реалізуватиме прогнозну модель, базується на збиранні та постійному уточненні великого обсягу даних. Чим більший обсяг, достовірність та актуальність вихідних даних, тим точніший прогноз. Для оновлення інформації у реальному часі пропонують застосування автоматизованих джерел даних: метеорологічних радарів та супутників для забезпечення постійного потоку даних про інтенсивність та розподіл опадів з високою просторовою та часовою роздільною здатністю; інтеграція даних з наземних метеостанцій для калібрування радарних даних та отримання інформації про температуру повітря, вологість, швидкість вітру; розміщення мережі давачів для моніторингу поточної вологості ґрунту (hs) та рослинного покриву (hr). Ці дані можна використовувати для оновлення початкових умов моделі в реальному часі. Необхідним є моніторинг рівня води в річках і водотоках та інтеграція даних про поточні рівні води для калібрування та верифікації прогнозів стоку. Дані про стан рослинного покриву із супутників і використання вегетаційних індексів (наприклад, NDVI) дасть змогу оперативно оцінювати біомасу та стан рослинності, що впливає на V_r . Оновлення цих даних може відбуватися з періодичністю, що залежить від супутникових знімачів. Для оновлення моделі в реальному часі можуть бути розроблені алгоритми, які будуть періодично (напри-

клад, щогодини або кожні декілька годин) завантажувати нові дані, оновлювати вхідні параметри моделі та перезапускати розрахунок прогнозу (автоматизовані цикли оновлення). Також можливе використання статистичних методів для оптимального поєднання даних з різних джерел (метеорологічних прогнозів, даних спостережень).

2. Використання прогнозів зміни клімату для оцінювання майбутніх режимів опадів і температур дасть змогу вдосконалити запропоновану модель і зробити її універсальнішою. Це може бути реалізовано способом запуску моделі з різними кліматичними сценаріями для оцінювання потенційних змін у паводковому стоці у довготерміновій перспективі. Сюди входить також і можливість врахування впливу температури, тобто залежностей між температурою повітря та випаровуванням з ґрунту та рослинного покриву (впливає на зміну hs та hr), температурою і транспірацією рослин, фазовими переходами води (сніготанення, замерзання ґрунту). Для територій, де сніговий покрив є значним фактором, можливим є розроблення окремого блоку моделі, що враховує нагромадження та танення снігу, оновлення граничної інтенсивності опадів (p_{max}), тобто дослідження потенційних змін інтенсивності екстремальних опадів у майбутньому та відповідне коригування параметра p_{max} .

3. Для адаптації моделі для дрібних ділянок (міські зони та інші регіони з високою варіативністю) потрібне збільшення просторової роздільної здатності моделі, тобто перехід до використання дрібніших елементів розрахунку (наприклад, окремі квартали в місті, невеликі водозбірні басейни). Для детального картографування непроникних поверхонь можливе використання даних дистанційного зондування високої роздільної здатності (аерофотознімки, LiDAR). Це дасть змогу точно визначати площі та конфігурації будівель, доріг та інших непроникних поверхонь (k). Доцільним є врахування специфічних елементів міської інфраструктури, таких як дощова каналізація, водозбірні колодязі, зелені дахи, проникне покриття, та їх впливу на формування та відведення стоку для моделювання міської гідрології, а також врахування локальних антропогенних впливів, таких як інформація про будівельні роботи, зміни у землекористуванні, стан дренажних систем на дрібних ділянках.

4. Потрібні обчислювальні засоби, достатньо потужні для нагромадження і оброблення даних. Йдеться про використання високоточного моделювання (за зменшення виділених елементів водозбору), що накладає певні вимоги до технічних характеристик обчислювальної техніки.

5. У цьому дослідженні не враховують процес формування паводкових стоків на підставі танення твердих опадів, наприклад граду.

6. Не враховують кількість вологи, яка випаровується назад в атмосферу за період розвитку подій. Цей параметр може бути введено до розгляду, проте це гарантовано призведе до значного збільшення навантаження на обчислювальні засоби та етап збирання вихідних даних.

7. Сильні локальні зливи, хоч і здатні призвести до локальних підтоплень, наприклад у межах конкретної ділянки сільськогосподарських угідь чи одного населеного пункту, особливо гірського, але не несуть глобаль-

ної загрози. Очевидно, модель краще працюватиме для випадків тривалих опадів на значних територіях: району, області чи водозбору річкової системи загальною площею не менше 8000-10000 км².

8. Покращення оцінювання характеристик моделі для територій із значною кількістю оброблюваних земель можна досягнути шляхом організації інтерфейсів із сільськогосподарськими геоінформаційними системами, які широко застосовують у світі.

Запропонована прогнозна модель дасть змогу визначати ділянки можливого формування паводкового стоку та його об'єми на підставі моніторингу кількості опадів, а також здійснювати прогнозування паводків для різних типів територій. Фіксація кількості опадів є одним з найважливіших факторів, що впливатиме на точність прогнозу. За відсутності достатнього обсягу даних вимірювань за наявності передумов (значні опади на всій площі водозбору) для встановлення кількісних характеристик опадів можна використати методи двомірної апроксимації за наявними даними.

Отже, ключовими характеристиками, які потрібно визначати для складання прогнозу, є вологомісткість рослинного покриву, вологомісткість ґрунтового покриву, тип підстильної поверхні, кількість опадів та точна вологість [14]. Морфометричні характеристики рельєфу місцевості, отримані внаслідок цифрового моделювання, також є вихідними даними для прогнозування утворення паводків.

Реалізація запропонованої моделі передбачає вирішення таких завдань:

- вибір методів і засобів оцінювання параметрів ґрунтів, їх поточної вологості;
- вибір методів і підходів до оцінювання параметрів рослинності;
- вибір методів оцінювання опадів;
- вибір методу приблизного оцінювання характеристик опадів для кожного виділеного елемента на підставі наявних даних;
- створення інформаційної системи у складі основних елементів – програмного, технічного та інших забезпечень.

Запропонована методика прогнозного моделювання процесів формування паводкових стоків, яка передбачає: використання геоінформаційних технологій для аналізу водозбору, врахування рельєфу, типу підстильної поверхні та опадів, як ключових параметрів моделі, поділ водозбору на найдрібніші елементи для деталізації розрахунків, визначення стоку, як надлишку опадів з урахуванням поглинання їх ґрунтами і рослинним покривом, найточніше врахування всіх можливих параметрів та факторів формування паводкового стоку, є підґрунтям для створення спеціалізованого програмного забезпечення, яке може бути застосоване для моделювання і прогнозування кризових гідрологічних ситуацій на будь-якій території.

Обговорення результатів дослідження. У роботі [2] автори проаналізували наявні моделі розрахунку та прогнозування кількісних характеристик поверхневих стоків і паводкових вод, а також обґрунтували потребу розроблення інформаційної системи контролю кількісних характеристик поверхневого стоку, яка б враховувала основні кількісні характеристики поверхневого стоку, водно-фізичні властивості ґрунту, рельєф басейну, кліматичні фактори.

У праці [6] запропоновано модель, особливістю якої є відокремлення факторів формування і трансформації

паводкового стоку на схилах і в русловій мережі. Процес трансформації схилового припливу в русловий стік описано за допомогою трансформаційних функцій, які враховують час руслового добігання та русло-заплавне регулювання.

У дослідженні [9] запропоновано методику для визначення невимірюваних складових частин математичної моделі, розробленої на базі гідрометричних підходів до схематизації гідрографів весняних водопіль і дощових паводків. Реалізація моделі ґрунтується на статистичних даних спостережень. Уперше запропоновано розрахункову модель редуційного типу, яка базується на параметрах, обчислених у структурах формул з ітераційними процедурами стосовно невимірюваних характеристик максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків.

У роботі [21] запропоновано математичну модель, що ґрунтується на побудові часткового ряду Фур'є за дискретними значеннями середньодадних значень рівнів води за статистичними гідрометеорологічними даними. Таку модель пропонують використовувати для короткотермінового прогнозування паводкових процесів.

У дослідженні [11] запропоновано використовувати методи ГС-аналізу для реалізації складних просторових моделей комплексного оцінювання стану території та вивчення різних природно-техногенних чинників для отримання оцінки стану поверхневих водних об'єктів та водозбірних територій, для виявлення можливості виникнення надзвичайних ситуацій, визначення зон затоплень, за розташування протипаводкових гідротехнічних споруд.

Незважаючи на значну кількість досліджень у галузі гідрологічного моделювання та прогнозування, проблема прогнозування паводків залишається невирішеною. Моделі, які розробляють, загалом ґрунтуються на статистичних даних, яких у даній галузі зібрано недостатньо або на емпіричних припущеннях. Здебільшого виконують моделювання паводків, які вже відбулись, наявні моделі є локальними, тобто прив'язаними до конкретної території і враховують тільки її особливості. Також статистичні моделі можуть бути неточними за антропогенних змін характеристик водозбору (наприклад, через урбанізацію, вирубування лісів) або за екстремальних, раніше не спостережуваних, погодних умов. Зокрема, зміни клімату можуть призвести до збільшення частоти та інтенсивності екстремальних опадів, що виходять за межі історичних спостережень, на яких навчалася модель. Статистичні моделі часто оперують узагальненими даними по всьому водозбору і не враховують просторової мінливості опадів, характеристик ґрунту, рослинного покриву та рельєфу, які істотно впливають на формування стоку та паводків на локальному рівні. У регіонах з недостатньою кількістю метеорологічних станцій або короткими рядами спостережень статистичні моделі можуть бути ненадійними. Не існує універсального програмного забезпечення, яке дало б змогу оперативно прогнозувати виникнення паводків з необхідною точністю на будь-якій території і, як наслідок, запобігати людським та матеріальним втратам.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результату дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – розроблено методику прогнозного моделю-

вання процесу формування паводкових стоків, концепція якої передбачає найточніше врахування всіх можливих параметрів та факторів їх формування і яка, на відміну від наявних методик, дасть змогу надалі розробити універсальне програмне забезпечення, яке можна застосовувати для моделювання і прогнозування кризових гідрологічних ситуацій на будь-якій території, оскільки воно буде враховувати природні та антропогенні особливості цих територій.

Практична значущість результатів дослідження – розроблена методика є підґрунтям для створення спеціалізованого програмного забезпечення для прогнозування паводків.

Висновки / Conclusions

Розроблено методику прогнозного моделювання процесів формування паводкових стоків з використанням геоінформаційних технологій, що дало змогу створювати прогнозні моделі, які враховують повний комплекс природних і антропогенних факторів виникнення паводків і запобігатимуть катастрофічним наслідкам гідрологічних кризових ситуацій у майбутньому. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Встановлено та охарактеризовано ключові параметри, які визначають процес формування та перебіг паводку. Визначено, що паводковий стік – це надлишок рідких опадів, який не може бути увібраний ґрунтами та рослинним покривом.
2. Побудовано цифрову модель рельєфу та карту крутизни схилів території села Угринів Івано-Франківської області. Наведено класифікацію ґрунтів з погляду їх вологомісткості та водопроникності. Розглянуто та охарактеризовано типи підстильних поверхонь (рілля, населені пункти, водні об'єкти, ліси, чагарники, луки).
3. Розроблено алгоритм оброблення даних, за яким працюватиме запропонована модель прогнозування паводкового стоку.
4. Визначено, що реалізація запропонованої концепції прогнозування базується на використанні геоінформаційних технологій та акумуляції і моніторингу значного обсягу даних про будову земної поверхні, рослинний покрив та кількість опадів.

References

1. Abdelgiom, M. (2024). A comprehensive Analysis of the Application of GIS and RS Technologies in Flood Prediction and Risk Assessment, with a Focus on Wadi Baysh Dam in the Jazan region. KSA. *Yanbu Journal of Engineering and Science*, 21(3), 1–16. <https://doi.org/10.53370/001c.118790>
2. Beley, O., & Shtayer, L. (2022). The influence of surface runoff on the formation of flood waters. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*, 1(3), 37–51. <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20220103.4>
3. Burshtynska, K., Babushka, A., & Halochkin, M. (2020). Hydrological processes modeling using GIS ARCGIS and module HEC-RAS. *Geodesy, cartography and aerial photography*, 96, 24–31. <https://doi.org/10.23939/istcgcap2020.91.028>
4. Burshtynska, Kh., Shevchuk, V., Tretyak, S., & Vekliuk, V. (2016). Monitoring of the riverbeds of rivers Dniester and Tisza of the Carpathian region. *XXIII ISPRS Congress, Commission VII* (Vol. XLIB7), 177–182. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLI-B7-177-2016>
5. Cacal, J., Czar, V., & Taboada, E. (2023). Extreme Event-based Rainfall-runoff Simulation Utilizing GIS Techniques in Irawan Watershed, Palawan, Philippines. *Civil Engineering Journal*, 9, 220–232. <https://doi.org/10.28991/CEJ-2023-09-01-017>
6. Gopchenko, E., Ovcharuk, V., Shakirzanova, J., Goptsiy, M., Traskova, A., Shvec, N., Serbova, Z., & Todorova, O. (2025). Modelling of extreme floods on example of mountain regions of Ukraine. *Visnyk of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geology*, 3(82), 6–15. <https://doi.org/10.17721/17282713.82.01>
7. Gori, A., & Lin, N. (2022). Projecting compound flood hazard under climate change with physical models and joint probability methods. *Earths Future*, 10(12), 1–19. <https://doi.org/10.1029/2022EF003097>
8. Herbei, M., Bădăluță-Minda, C., Popescu, C., Horablaga, A., Dragomir, L., Popescu, G., Kader, S., & Sestras, P. (2024). Rainfall-runoff modeling based on HEC-HMS model: a case study in an area with increased groundwater discharge potential. *Front. Water*, 6, article ID 1474990. <https://doi.org/10.3389/frwa.2024.1474990>
9. Hopchenko, Ye., Burlutska, M., Romanchuk, M., & Martyniuk, M. (2019). Modern methods of research of maximum flow of spring flood and rainfall flood of the rivers of Ukraine. *Scientific Bulletin of KSU. Series Geographical Sciences*, 10, 114–118. <https://doi.org/10.32999/ksu2413-7391/2019-10-16>
10. Jia, G., Wang, X., & Wei, H. (2013, July). An Effective Approach for Selection of Terrain Modeling Methods. In *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, Vol. 10, no. 4, pp. 875–879. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2012.2226429>
11. Karpets, K. (2014). Application of GIS analysis methods for modelling the flood zone and water flow during a flood in order to prevent emergency situations. *Problems of emergency situations*, 20, 82–86. URL: https://nbuv.gov.ua/UJRN/Pns_2014_20_15
12. Kovalchuk, I., & Mykhnovych, A. (2008). Flood modeling in the upper Dniester valley. Proceedings of the Shevchenko Scientific Society. Lviv. Ecological Collection. Research on biotic and landscape diversity and its preservation, 23, 293–312. URL: <https://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/74300/29-Kovalchuk.pdf?sequence=1>
13. Kravets, O. Y. (2018). The use of meteorological and geomorphological data in the calculation of rain floods. *Scientific Bulletin of UNFU*, 28(2), 129–132. <https://doi.org/10.15421/40280224>
14. Kravets, O. Ya. (2024). Application of geoinformation technologies for flood forecasting. *Modern engineering and innovative technologies*, 32(1), 83–89. <https://doi.org/10.30890/2567-5273.2024-32-00-017>
15. Kumar, V., Sharma, K., Caloiero, T., Mehta, D., & Singh, K. (2023). Comprehensive Overview of Flood Modeling Approaches: A Review of Recent Advances. *Hydrology*, 10(7), 141–149. <https://doi.org/10.3390/hydrology10070141>
16. Li, J., Wang, Z., & Zhang, T. (2023). Flood simulation using the hydrological model and the hydrological – hydrodynamic coupling model in a small watershed in semi-arid and sub-humid region, North China. *Journal of Water and Climate Change*, 14(10), 3496–3516. <https://doi.org/10.2166/wcc.2023.161>
17. Melnyk, T. (2012). Application of GIS for the purpose of preventing natural hydrological phenomena. Bulletin of V. N. Karazin Kharkiv National University. Series: Mathematical modeling. Information technologies. Automated control systems, 1037(20), 125–132. URL: https://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhl-MAM_2012_1037_20_15
18. Panigrahi, N., Mohan, B. K., & Athithan, G. (2010). Terrain modeling using dominant points. In: 2010 IEEE 2nd International Advance Computing Conference (IACC), Patiala, India, pp. 34–37. <https://doi.org/10.1109/IADCC.2010.5423041>
19. Shakirzanova, Zh. R. (2021). Long-term forecasting of the characteristics of spring waterlogging in the Southern Bug River basin: monograph. URL: <https://eprints.library.odetu.edu.ua/id/eprint/9674/>
20. Slater, L., Arnal, L., Boucher, M., Chang, A., Moulds, S., Murphy, C., & Zappa, M. (2023). Hybrid forecasting: blending climate predictions with AI models. *Hydrology and Earth System Sciences*, 27(9), 1865–1889. <https://doi.org/10.5194/hess-27-1865-2023>
21. Voloshyn, V., Melnyk, O., Melnyk, Yu., & Vereshko, O. (2017). Geo-information modeling of water levels of the stir river during the flood period within the territory of Lutsk. *Modern achievements of geodetic science and production*, 1(33), 166–171. URL: https://nbuv.gov.ua/UJRN/sdgn_2017_1_33

PREDICTIVE MODELING OF FLOOD RUNOFF FORMATION PROCESSES USING GEOINFORMATION TECHNOLOGIES

The most important and urgent task in hydrology is the calculation and forecast of floods. Creating a predictive model and software that can determine the volume of flood runoff and the area of flooding based on the initial characteristics of the territory and a set of meteorological observation data will allow designing and implementing adequate measures to respond to the consequences of floods, as well as preventing material and human losses. The aim and objective of this research is to develop a method for predictive modeling of flood runoff formation processes using geoinformation technologies. The research used methods of analysis and synthesis. The research was carried out using GIS technologies, which require the availability of computer program packages and information data banks. This study proposes to develop approaches to creating a data model for the flood forecasting problem by most accurately taking into account all possible parameters and factors. The following parameters are proposed to be selected as key parameters of the flood runoff formation forecasting model: terrain relief (slope steepness and direction of surface runoff formation), type of underlying surface (arable land, settlements, water bodies, type of vegetation, type of soil), amount and intensity of precipitation. It is proposed to divide the catchment area into small elements of regular geometric shape (triangles, rectangles) with identical (deviation no more than 10 %) key model parameters to model flood runoff. The territory of Uhryniv Village, Ivano-Frankivsk District, Ivano-Frankivsk Region, was chosen as an example. The digital terrain model and the map of slope steepness were created for this territory. Calculations of flood runoff volumes will be performed for individual elements of the watershed. The surface runoff in each individual element is calculated as the sum of volumes of runoff from neighbouring elements and the amount of precipitation, minus the volume of water absorbed by the soil and vegetation cover. The proposed forecasting model will allow analyzing the probability of flood runoff formation based on rainfall monitoring, as well as making forecasts for different types of territories. The monitoring of precipitation is one of the most important factors that will affect the accuracy of the forecast. It is necessary to select methods and means of assessing soil and vegetation parameters, their current humidity; methods of assessing precipitation characteristics for each selected element based on available data; to create an information system consisting of such main elements as software, technical and other types of support, and for implementation of the proposed model. Therefore, the proposed approach is based on the assumption that flood runoff is an excess of liquid precipitation that cannot be absorbed by soils and vegetation. Its implementation is based on the use of geoinformation technologies and monitoring, and also accumulation of a significant amount of data on the structure of the earth's surface, vegetation cover and precipitation. The proposed model can become the basis for the creation of specialized software for flood forecasting.

Keywords: digital terrain model; flood; watershed; soil water absorption; precipitation.