

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 551.311.21

DOI: 10.18524/2303-9914.2023.1(42).282243

Т. Б. Чепурна, кандидат геологічних наук, доцент

Е. Д. Кузьменко, доктор геолого-мінералогічних наук, професор

І. В. Чепурний, кандидат геологічних наук, доцент

А. В. Гайдейчук, аспірант

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
кафедра геотехногенної безпеки та геоінформатики
вул. Карпатська 15, м. Івано-Франківськ, 76019, Україна
ihor.chepurnyi@nung.edu.ua

ГЕОІНФОРМАЦІЙНИЙ АНАЛІЗ СЕЛЕВОЇ НЕБЕЗПЕКИ ТА ОЦІНКА ЗАГРОЗ ДЛЯ МОСТОВИХ СПОРУД В МЕЖАХ ТЕРИТОРІЇ ЗАКАРПАТТЯ

У статті розглядаються основні аспекти моделювання селевої небезпеки для території Закарпаття. Розглянуто створення моделі комплексної оцінки впливу селеініціюючих просторових факторів розвитку селевих процесів із залученням геоінформаційних технологій. Окрема увага приділена питанню оцінки селенебезпеки для інфраструктурних об'єктів, зокрема, мостових споруд, які в першу чергу піддаються руйнівному впливу селевих потоків.

Ключові слова: селеві процеси, геоінформаційні системи, моделювання, мостові споруди, просторово-часове прогнозування

ВСТУП

Селеві явища є досить поширеними у світі та в Україні зокрема. Випадки селесходжень фіксують у багатьох країнах світу. В Україні селенебезпечними територіями є Кримські гори і Карпати. У Карпатському регіоні України нараховують три селенебезпечні басейни, які охоплюють територію Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької областей, де налічується 219 великих селевих водотоків та понад 400 малих. Найбільшою схильністю до селеутворення характеризуються басейни рік Черемош і Прут, де існують умови для формування, переважно, водно-кам'яних, грязе-кам'яних типів селів. В Івано-Франківській області налічується 270 селенебезпечних водотоків, які займають площу 606,9 км². У Чернівецькій позначено 70 водотоків з селенебезпекою, площею 255,5 км². На території Львівської області в басейнах р. Дністер і Стрий фіксується понад 50 селенебезпечних водотоків, площею 305,5 км²,

Закарпатської області – 278 водотоків, загальна площа басейнів яких складає 1828,0 км². («Інформаційний щорічник», 2021).

Селеві процеси несуть загрози інфраструктурним об'єктам, зокрема автошляхам та мостовим переходам. Зокрема, у 2016 у селах Луги та Богдан Рахівського району на Закарпатті селеві потоки підтопили двори та будинки, пошкодили два мости. Також у межах Закарпатської області зафіксоване сходження трьох грязекам'яних селевих потоків у 2020 році в басейнах річок Ріка і Тересва на території Міжгірського та Тячівського районів. Враховуючи значне поширення селевих процесів на території Карпатського регіону та загрозу для будівель, споруд, об'єктів інфраструктури та безпеки життєдіяльності населення регіону, яку спричиняє їх активізація, доцільним є моніторинг та прогнозування їх розвитку. Основним інструментом, який доцільно використовувати для моніторингу та моделювання розвитку селевих процесів є геоінформаційні технології.

Особливу небезпеку селеві процеси несуть мостовим переходам на автошляхах та залізницях у гірській місцевості – об'єктам, які першочергово підпадають під вплив селевих потоків, що періодично проявляються на водотоках у селенебезпечних водозборах. Про важливість врахування селевої небезпеки при будівництві мостових переходів свідчить той факт, що у Держаних будівельних нормах – Мости та труби основні вимоги проектування, передбачені технічні рішення з метою мінімізації впливу селевих процесів на мостові переходи («Державні будівельні норми», 2009). У роботах Іванюти (2009, 2014) надано характеристики небезпек для мостових переходів унаслідок розвитку комплексу інженерно-геологічних загроз, проте питанню оцінки селевих небезпек для мостових споруд приділено мало уваги.

Також в ряді публікацій досліджено вплив селевого потоку на стійкість мостових споруд. Для зменшення пошкоджень дорожнього полотна у зоні впливу селевого потоку використовують мостові конструкції, щоб перетнути селевий потік і уникнути прямого затоплення доріг і блокування транспортного руху. Пошкодження мостів унаслідок селевих потоків, головним чином, спричиняється явищами, які можна узагальнити термінами – удар, абразія, розмивання і вібрація (Yuzhao Liang & Feng Xiong, 2019; Deng et al., 2016).

Удар унаслідок селевого потоку головним чином поділяється на удар болотистої маси і удар від крупних уламків. Селевий потік несе багато відкладів, уламків гірської породи, що абразивно впливають на опори мостової споруди, особливо на поверхню опори та опорну балку. У результаті, захисний бетонний шар опорної конструкції руйнується, а сталеві арматура виступає на поверхню, що серйозно впливає на безпеку конструкції. Внаслідок розмиву фундамент опори оголюється, що значно впливає на конструкцію. Вібрація селевого потоку є сильною і може спричинити тріщини в конструкції мосту, зменшуючи її критичну стійкість і збільшуючи ймовірність пошкодження.

Селеві потоки активізують ерозійні явища, змінюють положення русла водотоку, що призводить до пошкодження мостових споруд (Chen at all, 2006; Mikoš at all, 2011; Трофімова, 2014).

Метою дослідження є оцінка селевої небезпеки для мостових споруд для території сходу Закарпаття за допомогою методів геоінформаційного аналізу та моделювання.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Моніторингові спостереження за проявами селевих процесів є головним джерелом даних для моделювання та прогнозування їх розвитку на регіональному рівні. Дані про просторово-часовий прояв дозволяють створювати прогностичні моделі їх розвитку та на їх основі приймати управлінські рішення щодо попередження чи зниження руйнівних наслідків (Черпурна, 2017).

На сучасному етапі поширеним є моделювання та прогнозування розвитку селевих процесів на основі врахування сукупної дії факторів. До основних факторів виникнення та розвитку селевих явищ належать: тектоніко-геоморфологічні, геологічні, гідрологічні умови, сучасні екзогенні геологічні процеси, ґрунтово-рослинний покрив і антропогенна діяльність (Kuzmenko, 2011; Kasiyanchuk, 2015). Особливо слід звернути увагу на антропогенні зміни річкових басейнів, які часто призводять до інтенсивного розвитку ерозійних та гравітаційних процесів. Кожен із зазначених факторів має свій кількісний вимір – факторну характеристику. Саме для врахування всієї сукупності факторів та створення картографічних геоінформаційних моделей використовують геоінформаційні технології.

Алгоритм прогнозування екзогенних геологічних процесів, який був запропонований в (Кузьменко та ін., 2011; 2011), є основою методології просторово-часового прогнозування селенебезпеки. Даний алгоритм передбачає виконання досліджень на регіональному рівні. У дослідженні використовується картографо-статистичний метод, де статистичні розрахунки використовуються до і після створення карт. Карти можуть слугувати джерелом даних або засобом відображення результатів розрахунків. Система також включає в себе процес збору, систематизації та статистичної обробки кількісної інформації з фактичних карт селепроявів та факторних ознак, а також створення карт, які відображають розподілення вирахованих статистик та прогностичні карти селевої небезпеки.

Процес створення довгострокового просторово-часового прогнозу селенебезпеки включає чотири основні етапи: вибір релевантного та репрезентативного комплексу факторів, що впливають на просторовий та часовий розвиток селів, та оцінка ступеня впливу кожного фактору; розрахунок функції еталонного комплексного просторового показника розподілу осередків селесходження; розрахунок функції часового комплексного показника багаторічної селеактивності; створення прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки (Кузьменко та Чепурна, 2014).

Для прогнозування селесходження необхідно враховувати всі групи факторів, які впливають на ці процеси в регіоні. Для відбору таких факторів застосовується теоретичний підхід, оснований на літературних джерелах та апріорній інформації про природу та фізику селевих явищ. Після вибору потенційних факторів здійснюється їх аналіз з використанням гістограм та критеріїв відповідності теоретичним законам розподілу, щоб визначити наявність зв'язку між ними та селеформуванням. Наступний етап передбачає відбір факторів-предикторів за допомогою ГІС-аналізу. Такий комплексний підхід дозволяє більш точно прогнозувати селенебезпеку в регіоні (Сусідко та Лук'янець, 1999; Кузьменко та Чепурна, 2014).

Розрахунок еталонного просторового комплексного показника виконується за наступними етапами (Кузьменко та Чепурна, 2014).

1. Створення в ГІС – пакеті картографічної бази.

Створення картографічних шарів в середовищі ГІС дозволяє здійснювати комплексний аналіз факторів, що впливають на селеві процеси, та їх взаємозв'язку з селевими явищами.

2. Проведення просторового аналізу.

Проведення картометричних оверлейних операцій у середовищі ГІС дозволяє визначити вплив на селеві процеси ініціюючих факторів. Це, наприклад, розрахунок відстаней від точкових, лінійних та площинних об'єктів, розрахунок ураженості зон селевими водотоками.

3. Емпіричне виявлення та доведення існування закономірного зв'язку між просторовим розподілом осередків селесходження та кожним із факторів.

Виявлення закономірностей в розподілі осередків селесходження у залежності від селеініціюючих факторів може виконуватись шляхом перевірки відповідності їх факторних ознак теоретичним законам розподілу, зокрема нормальному розподілу.

4. Розрахунок інформативності кожного фактора.

Коефіцієнти інформативності визначають із метою підтвердження правильності вибору факторів та визначення вагового впливу на селевий процес

5. Розрахунок функції еталонного комплексного просторового показника.

Масиви значень факторних ознак нормуються за середньоквадратичним відхиленням з метою трансформації значень, виражених у фізичних величинах, у безрозмірні показники. Розрахунок еталонного просторового комплексного показника для кожного i -го селепрояву виконується за формулою:

$$Q_i = \sum_{j=1}^k z_{ij} \cdot V_j, \quad (1)$$

де z_{ij} – нормоване значення показника j -ї факторної ознаки для i -го селепрояву; k – кількість факторних ознак; V_j – ваговий коефіцієнт інформативності. Розподіл значень комплексного просторового показника повинен підпорядковуватись нормальному закону розподілу (Кузьменко та Чепурна, 2014).

При побудові часової моделі багаторічної селеактивності початковим етапом є вибір релевантних часових факторів, що сприяють багаторічній активізації селів у даному районі. Це фактори, вплив яких на селевий режим у регіональному масштабі є доказаний у багатьох працях (Сусідко та Лук'янець, 1999; Кузьменко та Чепурна, 2014). До них відносяться такі групи факторів: кліматичні, сейсмічні, гідрогеологічні та геліофізичні. Аналіз рядів зазначених факторів проводиться у послідовності зазначеній у роботі «Методологія кількісної», 2016.

У нашому дослідженні враховано тільки просторову складову прогнозу моделі. Для геоінформаційного аналізу селенебезпеки для мостових переходів прогнозу просторову модель створену на основі урахування просторових постійних факторів розвитку селевих процесів, які визначають їх прояв у просторі. Зокрема, при створенні еталонної моделі розглядалися такі факторні характеристики:

- геолого-тектонічні фактори (коефіцієнти ураженості тектонічних та літофаціальних зон селевими процесами, віддаль до тектонічного розлому, віддаль до найближчого зсуву);
- геоморфологічні (кут нахилу земної поверхні, абсолютна висота точки селепрояву, абсолютна висота вододілу басейну в якому зафіксовано селепрояв, віддаль до базису ерозії, віддаль до вододілу);
- ландшафтні (віддаль до межі лісу);
- техногенні (віддаль до дороги; віддаль до межі населеного пункту).

Зазначені факторні характеристики отримано для точок селепроявів за допомогою інструментарію ГІС. Коефіцієнти ураженості селевими водотоками розраховувались для відповідних зон за формулою (Кузьменко та Чепурна, 2014):

$$U = \frac{\sum_{i=1}^k l_i}{\sum_{j=1}^n L_j}, \quad (2)$$

де U – ураженість зони (факторна ознака зони); l_i – довжина i -го селевого водотоку; k – кількість селевих водотоків у межах зони; L_j – довжина j -го водотоку; n – кількість водотоків у межах даної зони.

Інші факторні характеристики розраховано для точок селепроявів за допомогою картометричних операцій у середовищі ГІС.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Просторову прогностичну модель селенебезпеки створено для ділянки, яка займає східну частину Закарпаття, основна її частина розташована у гірських Карпатах (рис.1). Площа території досліджень 4 179 км². На зазначені території в основному спостерігаються селеві процеси дощового генезису.

Для Карпатського регіону цей вид селевих процесів є найбільш характерним. Як вихідні дані використовувались дані ДП «Західукргеологія», дані

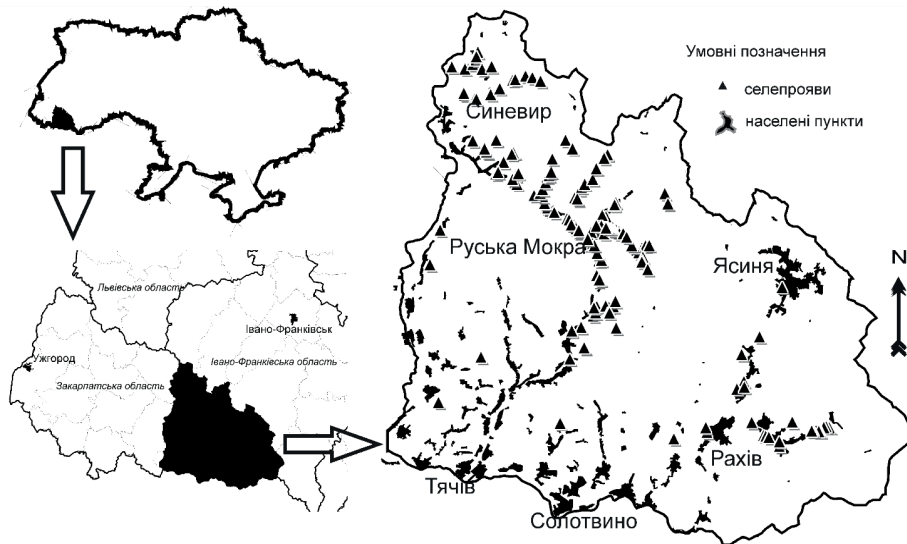


Рис. 1. Розташування ділянки досліджень

з відкритих джерел, результати польових інженерно-геологічних і геоморфологічних спостережень на ділянках селесходження та фондові матеріали по даному регіону. Геоінформаційне моделювання проведено у середовищі геоінформаційних систем MapInfo та QGIS.

Були створені та організовані картографічні шари з відповідними атрибутами, такими як ізолінії рельєфу з кроком 20 метрів, гідрологічна мережа, дороги, покриття території лісом, населені пункти, літофаціальні та тектонічні зони, розподіл середньорічної кількості опадів, тектонічні розломи, зсуви, фактичний матеріал по селепроявах, включаючи карту селесходжень з 185 осередками, зареєстрованих у державному кадастрі, а також селеві водотоки та вододіли. На основі отриманих картографічних шарів для кожної точки селепрояву одержано значення факторної характеристики відповідно до переліку, зазначеного вище. Для отриманих вибірок проведено визначення закону розподілу, проведено кореляційний, кластерний та факторний аналіз, визначено інформативність кожної факторної характеристики. За результатами проведеного аналізу обрано факторні характеристики для розрахунку функції еталонного комплексного просторового показника – (коефіцієнти ураженості тектонічних та літофаціальних зон селевими процесами, віддаль до тектонічного розлому, віддаль до найближчого зсуву, кут нахилу земної поверхні, абсолютна висота точки селепрояву, абсолютна висота вододілу басейну в якому зафіксовано селепрояв, віддаль до базису ерозії, віддаль до вододілу, віддаль до межі лісу, віддаль до дороги; віддаль до межі населеного пункту. Обрані факторні характеристики є незалежними та мають значну інформативність.

Після одержання еталонної моделі для точок селепроявів проведемо моделювання ймовірності селенебезпеки для усієї території досліджень. Для цього створено сітковий файл з кроком 200 м. За допомогою оверлейного аналізу для кожної комірки сітки визначено кількісне значення фактора та проведено розрахунок комплексного показника. Порівнявши отримане значення для кожної комірки сітки з еталонним можна перейти до ймовірності селепрояву для кожної комірки. На основі створеної прогностичної геоінформаційної моделі селенебезпеки побудовано прогнозну карту селенебезпеки у вигляді поверхні. Визначено ступінь селенебезпеки для річкових басейнів 3–4 порядку (рис. 2).

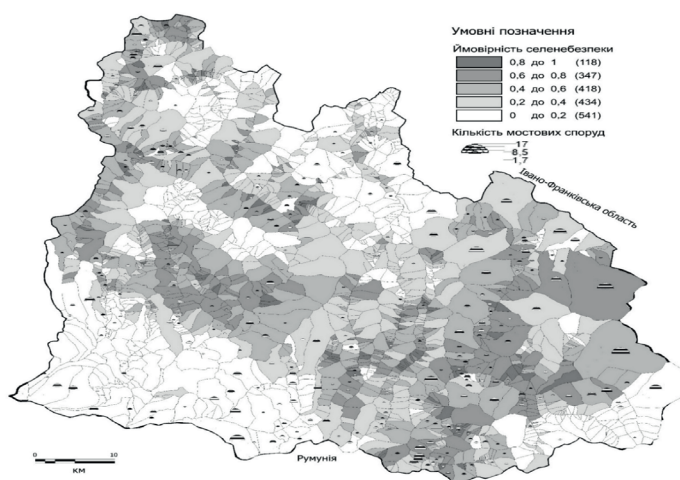


Рис. 2. Картограма селенебезпеки за результатами просторового прогнозування з вказанням кількості мостових споруд

На цьому ж рисунку на картограму винесено значення кількості мостових споруд для кожного басейну. Просторова модель має постійний характер, оскільки просторові чинники розвитку селевих процесів є не змінними у часі і визначають ймовірність виникнення селевого явища у просторі, період активізації визначається впливом часових факторів для яких слід розрахувати часовий комплексний показник.

Виконаємо аналіз селенебезпеки для мостів території досліджень. Дані щодо мостів отримано з відкритих джерел, зокрема сервісу Open Street Maps шляхом виконання імпорту даних та подальшої організації вибірок даних у середовищі геоінформаційної системи QGIS. Загальна кількість мостів різних конструкцій та призначення – 699, до уваги бралися дороги національного значення, регіонального, ґрунтові дороги (рис. 3).

Для розвитку селевих процесів визначальне значення має гідрологічний фактор – параметри водозбірного басейну, а саме кути нахилу земної поверхні,

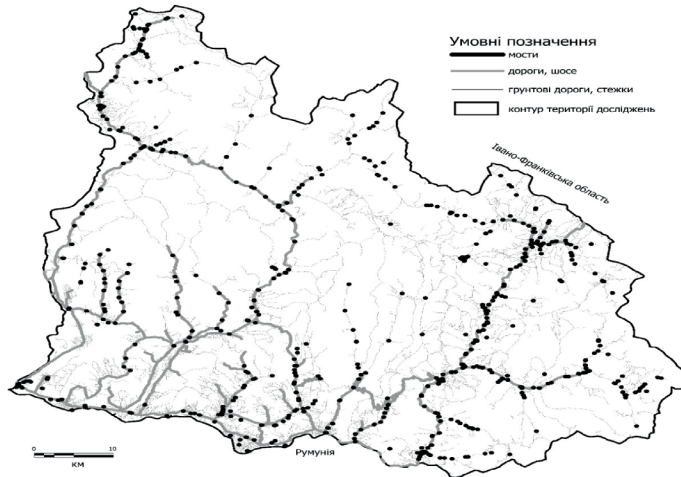


Рис. 3. Розташування мостових споруд на території досліджень

розгалуженість та щільність сітки водотоків, залісненість, літологічний склад порід. Територія досліджень включає басейни рік Чорна Тиса, Біла Тиса, Шопурка, Тересва, Терєбля, Тячівець, Апшиця та басейни малих рік верхів'я р. Тиса, між р. Терєбля та Тячівець. Зазначені басейни умовно класифікуються як басейни другого порядку, по відношенню до басейну головного водотоку – річки Тиса (басейн першого порядку). На рисунку 4 наведено діаграму розподілу мостових споруд за річковими басейнами, також наведено середню імовірність селевої небезпеки, одержану з моделі. Середня ймовірність на діаграмі характеризується низькими значеннями, оскільки осереднено дані селебезпеки по усій площі басейну, а селі розвиваються інтенсивно в водозборах басейнів більш низьких порядків – третього, четвертого. Кількість таких басейнів з великою інтенсивністю селеутворення невелика у басейні ріки високого порядку (рис. 2). З діаграми випливає, що найбільша кількість мостів (152) розташована у басейні р. Чорна Тиса, також порівняно значна селебезпека. Дещо менша кількість мостів (143) у басейні р. Терєбля, проте селебезпека тут незначна. Також підвищеною селебезпекою та значною кількістю мостових споруд характеризується басейн малих рік верхів'я р. Тиса (94 мости) та басейн р. Біла Тиса (81 міст).

Картограма селебезпеки (рис. 2) для басейнів 3–4 порядку дає можливість встановити дрібні водозбори з високим ступенем селебезпеки, в яких одночасно розташовано значна кількість мостів. Наприклад, понад 10 мостів розташовано в 6-ти басейнах, з яких 3 мають показник ймовірності селебезпеки понад 0.5. Вони розташовані в басейнах рік Чорна Тиса, Біла Тиса, – на заході території, та басейні малих рік верхів'я р. Тиса – в південній частині території.

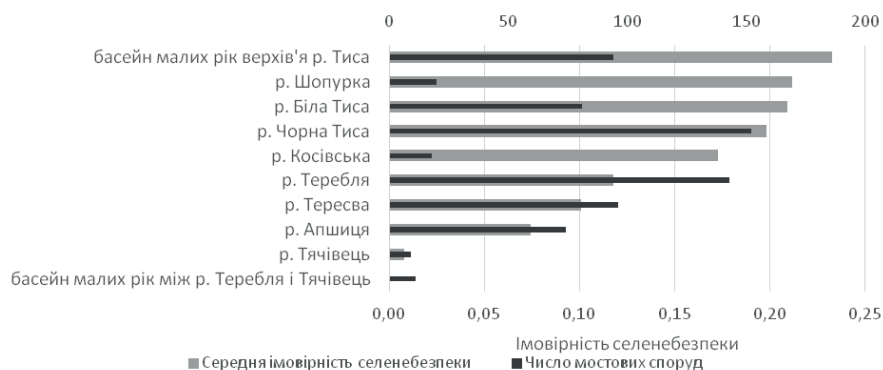


Рис. 4. Діаграма розподілу мостів та осереднених значень селевої небезпеки за басейнами.

На рисунку 5 наведено картограму ймовірності селенебезпеки для мостових споруд території досліджень.

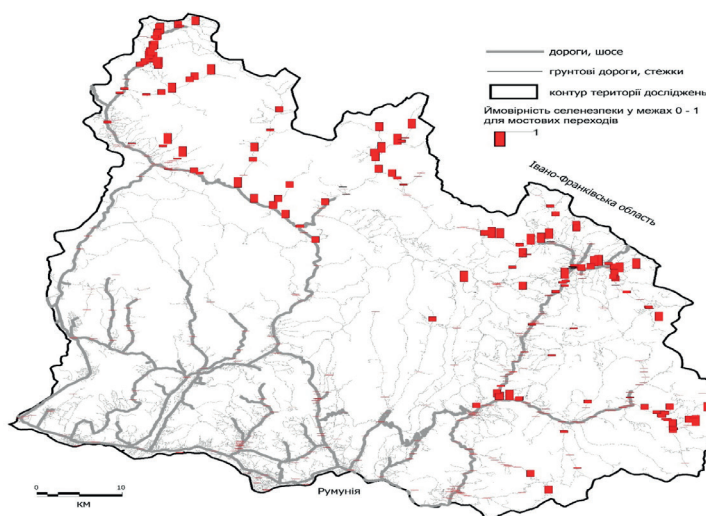


Рис. 5. Картограма селенебезпеки для мостових споруд.

Підвищену ймовірність розвитку селевих процесів мають мостові споруди, що розташовані у північній та західній частині території досліджень. Для того щоб оцінити розподіл мостових об'єктів за ймовірністю розвитку селевих процесів побудовано гістограму розподілу (рис. 6). Ймовірність до 0.2 характеризує 573 мостові переходи. Дуже висока ймовірність селенебезпеки характерна для 45 мостів. Ці мостові споруди розташовані у верхів'ї річок Тересва та Тересва, басейні р. Чорна Тиса, р. Біла Тиса.

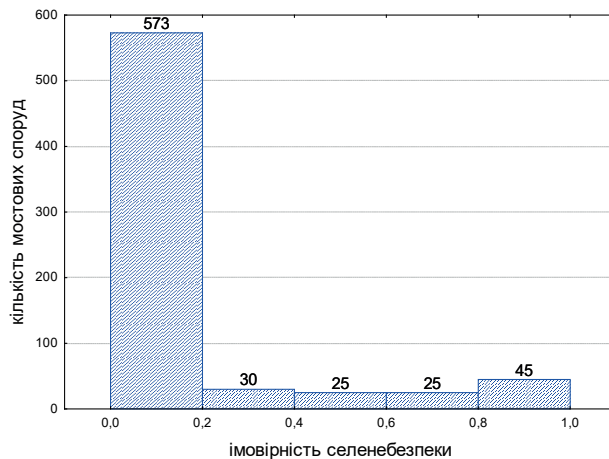


Рис. 6 Гістограма розподілу мостових переходів за імовірністю селенебезпеки.

Для детального дослідження впливу селевих процесів на інфраструктурні об'єкти і мостові споруди зокрема необхідний моніторинг розвитку селевих процесів, ведення актуального кадастру селепроявів, що можливо досягти шляхом створення системи моніторингу небезпечних геологічних процесів у вигляді геопорталу. Гірські території, до яких приурочений розвиток селевих процесів, характеризуються наявністю великої кількості мостових споруд на експлуатаційну надійність яких впливають, крім селевих процесів, паводки, повені, процеси берегової ерозії тощо. Тому використовувати комплексний підхід до визначення експлуатаційної надійності мостових конструкцій, і безумовно найкращим інструментом для таких досліджень є геоінформаційні системи, які дозволяють проводити аналіз на основі різних джерел просторових даних – супутникові знімки, відкриті дані, геокодування табличних даних векторизації паперових джерел інформації.

ВИСНОВКИ

Селеві процеси є характерними для території Карпат, тому прогнозування їх розвитку у просторі та часі, а також оцінка впливу їх розвитку на інфраструктурні об'єкти є необхідною.

Ефективною є методологія регіонального просторово-часового прогнозування екзогенних геологічних процесів, що дозволяє передбачити селеву небезпеку на основі врахування сукупної дії можливих факторів розвитку селів у вигляді еталонного просторового комплексного показника. Такими факторами є геологічні, геоморфологічні, техногенні, кліматичні та ландшафтні для просторової оцінки, а геліофізичні, сейсмічні, метеорологічні та гідрогеологічні для часової.

Створена прогностична геоінформаційна модель ймовірності виникнення селевих процесів може використовуватись як основа для планування протиселевих заходів, а також для оцінки селевих небезпек для об'єктів інфраструктури, в тому числі і для мостових споруд, які першочергово підпадають під вплив селевих процесів.

На основі створеної моделі селенебезпеки для території досліджень оцінено селенебезпеку для мостових переходів. Встановлено, що ймовірність до 0.2 характеризує 573 мостові переходи. Дуже висока ймовірність селенебезпеки характерна для 45 мостів. Ці мостові споруди розташовані у верхів'ї річок Тереля та Тересва, басейні р. Чорна Тиса, р. Біла Тиса.

Для детальної оцінки інженерно-геологічних загроз для мостових споруд унаслідок розвитку селевих процесів, паводків, повеней, процесів берегової ерозії доцільно використовувати комплексний підхід, використовуючи інструментарій геоінформаційних систем та широкий спектр джерел даних, зокрема дані дистанційного зондування Землі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Державні будівельні норми В.2.3–22:2009 Споруди транспорту. Мости та труби. Основні вимоги проектування. 2009. 73 с.
- Іванюта С.П. Про безпеку функціонування мостів на автошляхах України в умовах інженерно-геологічних загроз. *Геоінформатика*. 2009. № 1 (29). С. 82–90.
- Іванюта С.П., Яковлев С.О. Регіональна оцінка рівня техногенного навантаження в Україні. *Вісник Вінницького політехнічного інституту: наук. журн. Вінн. нац. техн. ун-т. Вінниця*, 2014. № 6. С. 23–30.
- Інформаційний щорічник щодо активізації небезпечних екзогенних геологічних процесів за даними моніторингу ЕГП – Київ, Державна служба геології та надр України, Державне науково-виробниче підприємство «Державний інформаційний геологічний фонд України», 2021. 78 с.
- Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., Штогрин Л.В. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 1. Теоретичні передумови прогнозування екзогенних геологічних процесів. *Закономірності активізації зсувів*. *Геоінформатика*. 2011. № 3. С. 61–74.
- Кузьменко Е.Д., Журавель О.М., Чепурна Т.Б., Чепурний І.В., Штогрин Л.В. Прогнозування екзогенних геологічних процесів. Частина 2. Закономірності розвитку поверхневих проявів карсту та селів. *Геоінформаційна система прогнозування ЕГП*. *Геоінформатика*. 2011. № 4. С. 58–77.
- Кузьменко, Е. Д., Чепурна Т.Б. Прогнозування селевих процесів: монографія. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2014. 254 с.
- Чепурна Т.Б., Касіянчук Д.В., Кузьменко Е.Д., Чепурний І.В. Методологія кількісної прогнозування оцінки ризиків від розвитку екзогенних геологічних процесів: селеві ризики. *Геоінформатика*. 2016. № 2. С. 79–85.
- Трофімова О. Негативні наслідки селів та шляхи забезпечення раціонального природокористування в умовах їх активізації на території Українських Карпат. *Проблеми геоморфології і палеогеографії Українських Карпат і прилеглих територій*. 2014. С. 154–164.
- Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Методичні засади ймовірнісного прогнозування сельових явищ в Українських Карпатах. *Наук. пр. УкрНДГМІ*. 1999. Вип. 247. С. 114–124.
- Chen, H., Crosta, G. B., & Lee, C. F. Erosional effects on runoff of fast landslides, debris flows and avalanches: A numerical investigation. *Geotechnique*, 2006. 56(5), 305–322. doi:10.1680/geot.2006.56.5.305
- Чепурна, Т.В. Features of high-altitude distribution of mudflow sites in the upper tysa basins in ukrainian Carpathians. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2017. (2), 118–127.
- Deng, L., Wang, W., & Yu, Y. State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 2016. 30(2) doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000731
- Haas, T. D., & Woerkom, T. V. Bed scour by debris flows: Experimental investigation of effects of debris-flow composition. *Earth Surface Processes and Landforms*. 2016. 41(13), 1951–1966. doi:10.1002/esp.3963
- Kasiyanchuk, D., Chepurnyi, I., Chepurna, T., & Hurska, N. Methodology of quantitative forecasting risk assessments of exogenous geological processes using GIS technology. Paper presented at the 14th EAGE International

Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics. 2015, doi:10.3997/2214-4609.201412408

Kuzmenko, E. D., Zuravel, A. M., Chepurna, T. B., Chepurnyj, I. V., & Shtogrin, L.V. The forecasting of the exogenous geological processes. Paper presented at the 10th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects, 2011.

Mikoš, M., & Majes, B. Mitigation of large landslides and debris flows in slovenia, europe. *Landslides: Causes, types and effects* (pp. 105–132). 2011. Retrieved from www.scopus.com

Yuzhao Liang & Feng Xiong. Quantification of debris flow vulnerability of typical bridge substructure based on impact force simulation, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10:1, 2019. 1839–1862, DOI: 10.1080/19475705.2019.1641564

REFERENCES

Derzhavni budivelni normy V.2.3–22:2009 Sporudy transportu. Mosty ta truby. Osnovni vymohy proektuvannia (State building regulations B.2.3–22:2009 Transport structures. Bridges and pipes. Basic design requirements) (2009). 72. [in Ukrainian].

Informatsiinyi shchorichnyk shchodo aktyvizatsii nebezpechnykh ekzohennykh heolohichnykh protsesiv za danyymi monitorynhu EHP (Information yearbook on the activation of dangerous exogenous geological processes according to EGP monitoring data) (2021). 2021). Kyiv: State Geology and Subsoil Service of Ukraine, State Scientific and Production Enterprise "State Information Geological Fund of Ukraine". 78 [in Ukrainian]. (

Ivaniuta S.P. (2009) Pro bezpeku funktsionuvannia mostiv na avtoshliakhakh Ukrainy v umovakh inzhenerno-heolohichnykh zahroz (On the safety of functioning of bridges on highways of Ukraine in the conditions of engineering and geological threats). *Geoinformatika*, 1 (29), 82–90. [in Ukrainian].

Ivaniuta S.P., Yakovliev Ye.O. (2014) Rehionalna otsinka rivnia tekhnolohichnoho navantazhennia v Ukraini (Regional assessment of the level of technical load in Ukraine). *Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute: Science. Journal*, 6, 23–30. [in Ukrainian].

Kuzmenko E.D., Zhuravel O.M., Chepurna T.B., Chepurny I.V, Shtohryn L.V. (2011) Prohnozuvannia ekzohennykh heolohichnykh protsesiv Chastyna 1. Teoretychni peredumovy prohnozuvannia ekzohennykh heolohichnykh protsesiv. Zakonomirnosti aktyvizatsii zsuiv (Forecasting exogenous geological processes Part 1. Theoretical prerequisites for forecasting exogenous geological processes. Patterns of activation of landslides). *Geoinformatika*, 3, 61–74. [in Ukrainian].

Kuzmenko E.D., Zhuravel O.M., Chepurna T.B., Chepurny I.V, Shtohryn L.V. (2011) Prohnozuvannia ekzohennykh heolohichnykh protsesiv Chastyna 2. Zakonomirnosti rozvytku poverkhnevyykh proiaviv karstu ta seliv. Heoinformatsiina systema prohnozuvannia EHP (Forecasting of exogenous geological processes Part 2. Patterns of development of surface manifestations of karst and sediments. Geoinformation system of EGP forecasting)/ *Geoinformatika*, 4, 58–77. [in Ukrainian].

Kuzmenko, E. D., Chepurna T.B. (2014) *Prohnozuvannia selevykh protsesiv (Forecasting of mudflow processes)*. Ivano-Frankivsk: IFNTUOG, 2014, 254. [in Ukrainian].

Chepurna T.B., Kasianchuk D.V., Kuzmenko E.D., Chepurny I.V. (2016) Metodolohiia kilkisnoi prohnoznoi otsinky ryzykiv vid rozvytku ekzohennykh heolohichnykh protsesiv: selevi ryzyky (Methodology of quantitative predictive assessment of risks from the development of exogenous geological processes: mudflow risks). *Geoinformatika*, 2, 79–85. [in Ukrainian].

Trofimova O. (2014) Nehatyvni naslidky seliv ta shliakhy zabezpechennia ratsionalnoho pryrodokorystuvannia v umovakh yikh aktyvizatsii na terytorii Ukrainykykh Karpat (Negative consequences of mudflow and ways to ensure rational nature management in the conditions of their activation in the territory of the Ukrainian Carpathians). *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories*, 154–164. [in Ukrainian].

Susidko M. M., Luk'ianets O. I. (1999) Metodychni zasady ymovirnisnoho prohnozuvannia selovykh yavlyshch v Ukrainykykh Karpatakh (Methodological principles of probabilistic forecasting of rural phenomena in the Ukrainian Carpathians). *Nauk. pr. UkrNDHMI*, 247, 114–124. [in Ukrainian].

Chen, H., Crosta, G. B., & Lee, C. F. (2006). Erosional effects on runout of fast landslides, debris flows and avalanches: A numerical investigation. *Geotechnique*, 56(5), 305–322. doi:10.1680/geot.2006.56.5.305

Chepurna, T. B. (2017). Features of high-altitude distribution of mudflow sites in the upper tya basins in ukrainian carpathians. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (2), 118–127. Retrieved from www.scopus.com

Deng, L., Wang, W., & Yu, Y. (2016). State-of-the-art review on the causes and mechanisms of bridge collapse. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 30(2) doi:10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000731

Haas, T. D., & Woerkom, T. V. (2016). Bed scour by debris flows: Experimental investigation of effects of debris-flow composition. *Earth Surface Processes and Landforms*, 41(13), 1951–1966. doi:10.1002/esp.3963

Kasiyanchuk, D., Chepurnyi, I., Chepurna, T., & Hurska, N. (2015). Methodology of quantitative forecasting risk assessments of exogenous geological processes using GIS technology. *Paper presented at the 14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, Geoinformatics 2015*, doi:10.3997/2214-4609.201412408.

Kuzmenko, E. D., Zuravel, A. M., Chepurna, T. B., Chepurnyj, I. V., & Shtogrin, L. V. (2011). The forecasting of the exogenous geological processes. *Paper presented at the Geoinformatics 2011–10th International Conference on Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects*.

Mikoš, M., & Majes, B. (2011). Mitigation of large landslides and debris flows in slovenia, europe. *Landslides: Causes, types and effects* (pp. 105–132).

Yuzhao Liang & Feng Xiong (2019) Quantification of debris flow vulnerability of typical bridge substructure based on impact force simulation, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 10:1, 1839–1862, DOI: 10.1080/19475705.2019.1641564

Надійшла 26.05.2023

T. B. Chepurna

E. D. Kuzmenko

I. V. Chepurny

A. V. Haydeychuk

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Department of Geotechnical Safety and Geoinformatics

St. Karpatska 15, Ivano-Frankivsk, 76019, Ukraine

ihor.chepurnyi@nung.edu.ua

GEO-INFORMATION ANALYSIS OF MUDFLOW DANGER AND THREAT ASSESSMENT FOR BRIDGE STRUCTURES WITHIN THE TERRITORY OF TRANSCARPATHIA

Abstract

Problem Statement and Purpose. Mudflows are quite common in the world and in Ukraine in particular. There are three mudflow-prone basins in the Carpathian region of Ukraine. Mudflowing processes threaten infrastructure facilities, in particular highways and bridge crossings. Therefore, it is advisable to monitor and forecast their development. Geoinformation technologies are the main tool that should be used for monitoring and modeling the development of mudflow processes. Damage to bridges, which are primarily exposed to the mudflow process, as a result of mudflows, is caused by phenomena that can be summarized by the terms – impact, abrasion, erosion and vibration. Mudflows also activate erosion phenomena, change the position of the watercourse channel, which leads to damage to bridge structures. The purpose of the study is to assess the risk of mudflows for bridge structures for the territory of eastern Transcarpathia using methods of geoinformation analysis and modeling.

Data & Methods. At the present stage, it is common to model and forecast the development of mudflow processes based on taking into account the combined effect of factors. The main factors of the occurrence and development of mudflow phenomena include: tectonic, geological, hydrological conditions, modern exogenous geological processes, soil and plant cover and anthropogenic activity. The process of modeling and forecasting of mudflow hazard includes such basic stages as the

selection of a set of factors affecting the development of mudflow, assessment of the level of their influence, calculation of integral indices of sediment activity, creation of a prognostic geo-informational model of mudflow hazard.

Results. A spatial prognostic model of mudflow hazard was created for the area that occupies the eastern part of Transcarpathia, the main part of which is located in the mountainous Carpathians. Mudflow processes of rain genesis are mainly observed in the mentioned territories. The spatial model has a constant character, since the spatial factors of the development of mudflow processes are not variable in time and determine the probability of the occurrence of a mudflow phenomenon in space, the period of activation is determined by the influence of time factors for which a time complex indicator should be calculated. Based on the created mudflow hazard model for the research area, the mudflow hazard for bridge crossings was assessed. It was established that a high probability of mudflow hazard is characteristic of 45 bridges. These bridge structures are located in the upper reaches of the Tereblya and Teresva rivers, in the basin of the Black Tysa and White Tysa rivers. For a detailed assessment of engineering and geological threats to bridge structures as a result of the development of mudflows, floods, coastal erosion processes, it is advisable to use a comprehensive approach, using the toolkit of geoinformation systems and a wide range of data sources, in particular, data from remote sensing of the Earth.

Keywords: mudflow processes, geoinformation systems, modeling, bridge structures, spatio-temporal forecasting