

Наука — виробництву

УДК 550.837:550.348

ПРОГНОЗУВАННЯ АКТИВІЗАЦІЇ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ГЕОЛОГО-ГЕОФІЗИЧНИМИ ДОСЛІДЖЕННЯМИ

Е.Д.Кузьменко, І.В.Крив'юк, М.В.Штогрин

*ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504761,
e-mail: kuzmenko@ivf.ukrask.net, gbg@nung.edu.ua*

Представлены результаты теоретических работ и практического использования геолого-геофизических исследований на оползнеопасном участке. Разработан и внедрен комплексный подход к оценке оползневой опасности, который предусматривает сочетание последовательного изучения оползневых участков геологическими, геофизическими и инженерно-геологическими методами с расчетом устойчивости склона и прогнозированием вероятности возникновения и активизации оползней.

Results of theoretical operating time and practical use geology-geophysical researches on landslide hazards sites are presented. The complex approach to an estimation sliding dangers which provides a combination of consecutive studying sliding sites geological, geophysical and engineering-geological methods with calculation of stability of a slope and forecasting of probability of occurrence and activization of landslides is developed and introduced

Довготривалий часовий прогноз розвитку зсувних процесів в Карпатах свідчить, що починаючи з 2007 р. слід очікувати їх активізацію, пік якої має припасти на 2009-2010 рр. [1]. Тому актуальним є питання прогнозування активізації зсувних процесів на місцевості, з виявленням ділянок, на яких з певною вірогідністю можуть утворюватись зсуви, аналізом зсувоініціюючих факторів та наданням рекомендацій щодо виконання протизсувних заходів.

Метою наведених досліджень є розробка та впровадження комплексного підходу до оцінки зсувної небезпеки, який передбачає поєднання послідовного вивчення зсувних ділянок геологічними, геофізичними та інженерно-геологічними методами, з розрахунком стійкості схилу та прогнозом можливості виникнення та активізації зсувів.

Експериментальні геолого-геофізичні дослідження, результати яких наведені в статті, проводились на зсувонебезпечній ділянці в с.м.т. Битків Надвірнянського району Івано-Франківської області, на якій відбувся зсув ґрунту. Цільовим призначенням досліджень було геолого-геофізичне картування схилу в районі діючого зсуву з метою виявлення причин зсувного процесу, прогнозування його подальшого розвитку та надання рекомендацій щодо виконання протизсувних заходів на даному об'єкті.

Територія, на якій розташовано с.м.т. Битків, знаходиться в зоні значної ураженості небезпечними геодинамічними процесами, зокрема зсувами (рис. 1). Основними причинами

зсувів є особливості геологічної будови, значні кути нахилу денної поверхні, наявність річок та струмків, інтенсивна фільтрація підземних вод, значна кількість опадів, діяльність людини.

В тектонічному відношенні ділянка досліджень розташована в районі, де зафіксовано три повздовжніх розломи, а саме: північно-східний, центральний і південно-західний, і два поперечних. Досліджувана ділянка розташована в зоні перетину цих розломів, які утворили зону дроблення, яка може мати ширину від декількох метрів до десятків.

Слід зазначити, що зменшенню стійкості порід даної ділянки до процесів ерозії сприяє їх значна тріщинуватість та наявність тектонічного розлому, що інтенсифікувало циркуляцію в межах ділянки як поверхневих, так і підземних вод.

Для виявлення стану зсувонебезпеки та можливості подальшого розвитку зсуву проводився комплекс геофізичних досліджень, що включав в себе наступні методи: газогеохімічна зйомка (ГГХЗ), метод природного електричного поля (ПЕП), метод природного імпульсного електромагнітного поля Землі (ПЕМПЗ), метод вертикального електричного зондування (ВЕЗ) та метод біолокації (БЛ). За результатами геофізичних досліджень по кожному з методів зроблено наступні висновки:

1) ГГХЗ – встановлено наявність розлому, що проходить перпендикулярно до струмка Розсіч через діючий зсув. Розлом є зоною дроблення, по якій можливий розвиток зсуву;

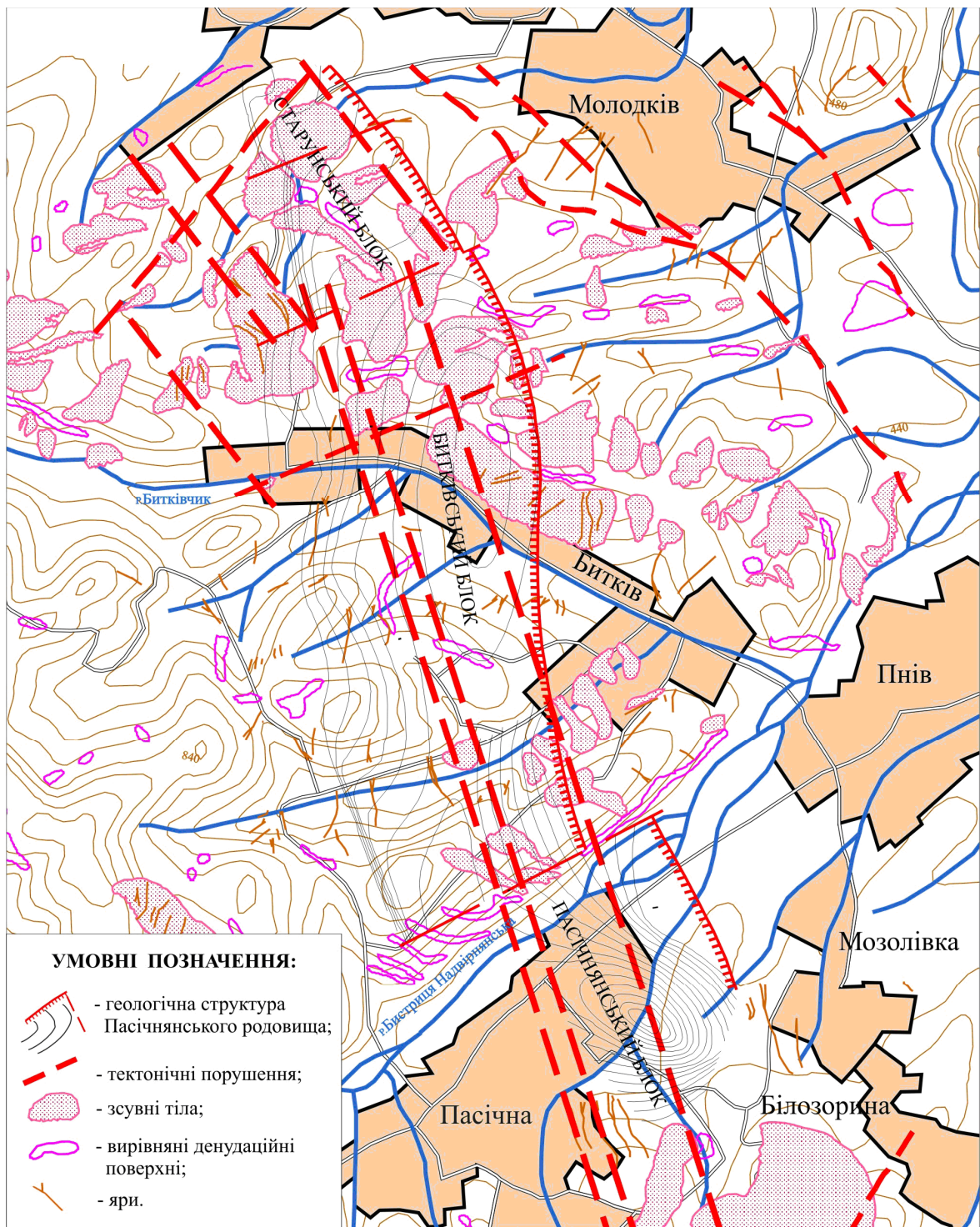


Рисунок 1 – Карта-схема небезпечних геодинамічних процесів

2) ПЕП – виявлено зони підвищеної проникності підземних вод, а також зони приповерхневої фільтрації, які узгоджуються із зсувно-небезпекою;

3) ПЕМПЗ – виявлені окремі аномальні зони, які свідчать про те, що зсув повністю не розвантажений і за певних умов може відбутись подальший його рух;

4) ВЕЗ – підтверджена наявність зони розлому. Практично на всіх кривих виділяється границя низькоомних порід на глибині 1.2-3 м, за якими простежується поверхня ковзання;

5) БЛ – виявлено можливість подальшого руху порід діючого зсуву, про що свідчить обертання рамки в районі відколу.

Комплексна інтерпретація даних геолого-геофізичних досліджень передбачає узагальнення результатів по всіх методах досліджень, а також їх порівняння з метою виявлення потенційно зсувних зон, які були б відображені в даних декількох методів. Для реалізації цієї мети складена таблиця 1 комплексної інтерпретації. Квадрати планшету 1.1 – 5.6 винесені на рис. 2.



Рисунок 2 – Карта небезпечних зсувних зон

Таблиця 1 – Узагальнення результатів інтерпретації по методах

Метод	Зсувна ознака	Аномалія поля	Площа застосування методу	Площа розвитку аномалії	Примітка
ГГХЗ	Вміст метану	Підвищення вмісту метану	1.1–1.6 2.1–2.6	1.1–1.3 2.2–2.4	Аномалія пов'язана з тріщиною відколу зсуву та розломом
ПЕП	Гідравлічний тиск, механічний тиск	Збільшення природного електричного потенціалу	Вся площа	1.1–1.4 2.2–2.4 3.1, 3.5 4.1, 4.5 5.5	Аномалії пов'язані з пригрузкою схилу будівлями та наявністю фільтраційних потоків
Ш-ЕМПЗ	Деформація гірських порід	Збільшення інтенсивності імпульсів природного електричного поля	Вся площа	1.1–1.4 (тіло зсуву), 2.2–2.4 3.3 5.2	Аномалії пов'язані з напруженим станом гірських порід та мікродоформациями
ВЕЗ	Наявність в розрізах зволоженого аргілітового шару	Зменшення електричного опору	Вся площа	1.1–1.5 2.1–2.5 3.1–3.5 4.1–4.5 5.2–5.5	В зволоженому шарі аргілітів може розвиватись дзеркало ковзання

Аналіз даних щодо площі розвитку аномалій (стовпчик 5 таблиці 1) свідчить, що по трьох і чотирьох методах виділяються наступні квадрати, де наявна зсувна небезпека: 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, 2.2, 2.3, 2.4. Таким чином, слід виділити на ділянці дослідження зони трьох рівнів зсувного ризику. Перший рівень – рівень значного ризику – ділянки, на яких виявлено аномалії за чотирма з проведених методів. Другий рівень – рівень наявності ризику – ділянки, на яких виявлено аномалії за трьома з проведених методів. Третій рівень – рівень малоімовірного ризику – ділянки, на яких виявлено аномалії за двома з проведених методів (квадрати 3.1, 3.3, 3.5, 4.1, 4.5, 5.2, 5.5). В зону першого і другого рівня зсувного ризику попадають майже повністю або частково два житлових будинки (рис. 1).

Причини розвитку зсуву слід розділити на дві групи: природні та техногенні. До природних причин відносяться: особливості літологічного складу гірських порід; підвищена зволоженість гірських порід; наявність розломної тектоніки та підрізка схилу внаслідок ерозійної діяльності струмка і його вигин. До техногенних причин відносяться: підрізка схилу при будівництві житлових будинків; створення умов додаткового гідравлічного тиску.

Основними кількісними методами оцінки схилів і, відповідно, прогнозу зсувних процесів на них є розрахункові. Дані методи прийнято називати методами розрахунку стійкості схилів. На даний час запропоновано декілька груп таких методів. Основою більшості з них є теорія рівноваги однорідного ізотропного середовища.

Кількісною мірою оцінки небезпеки розвитку зсуву на схилі є коефіцієнт його стійкості, значення якого не повинні бути нижчі за гранично допустимі (1.25 для I ступеня відповіда-

льності, 1.2, 1.15, та 1.1 для II, III та IV ступенів відповідальності відповідно) [2].

Прогнозування подальшої ймовірності розвитку зсувних процесів на досліджуваній ділянці проводилось на основі аналізу розрахункових коефіцієнтів стійкості схилу, що враховували наявну ситуацію на ділянці та можливі її зміни внаслідок додаткового навантаження схилу та поглиблення ерозійного візу струмка Розсіч в берег.

Розрахунок стійкості схилу на досліджуваній ділянці проводився за методикою, наведеною в [3, 4]. Загальна формула, за якою велись подальші розрахунки коефіцієнтів стійкості схилу, була наступною:

$$\eta = \frac{\sum N_i f + CL}{\sum T_i}, \quad (1)$$

де: η – розрахунковий коефіцієнт стійкості схилу; N_i – нормальна складова ваги P_i i -тої частини масиву; f – розрахунковий коефіцієнт внутрішнього тертя порід; C – розрахункове щеплення порід, що утворюють поверхню ковзання; L – довжина поверхні ковзання; T_i – складова сили тяжіння i -тої частини масиву.

Умова рівноваги схилу є наступною:

$$\eta = \frac{\sum N_i f R + CLR}{\sum T_i R} = 1. \quad (2)$$

Як відомо, показники, що відповідають за опір порід зсуву (f і C), визначаються за допомогою польових і лабораторних досліджень [5]. Покажемо, що за наявності зсуву на ділянці досліджень можна провести розрахунок стійкості схилу, тобто надати оцінку можливості розвитку зсуву за допомогою фізико-математичного моделювання. Коефіцієнт внутрішнього

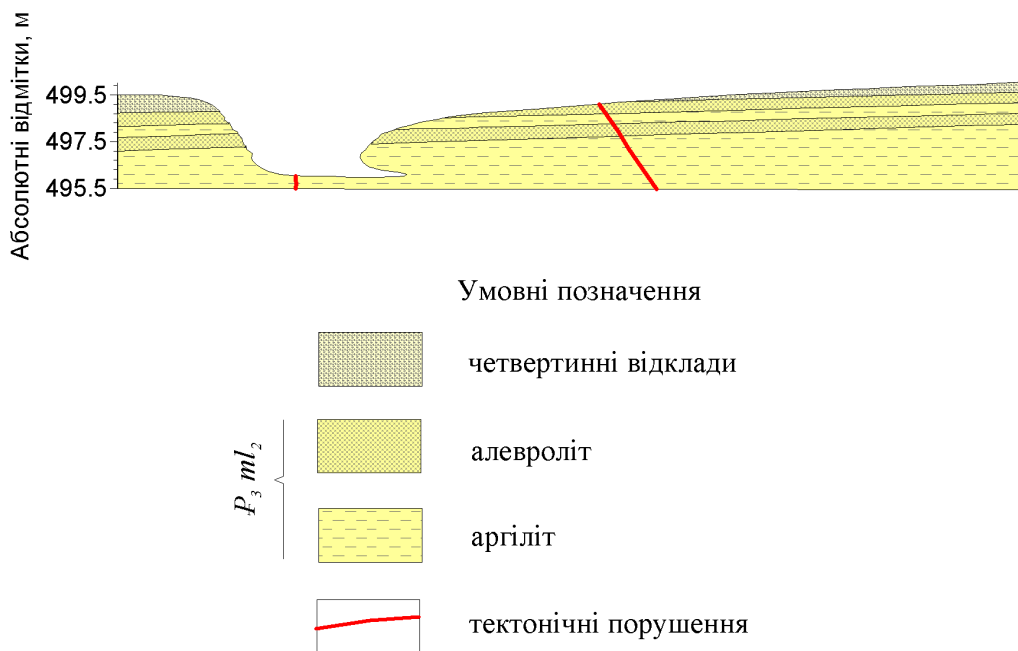


Рисунок 3 – Геологічний розріз по падінню схилу до виникнення зсуву

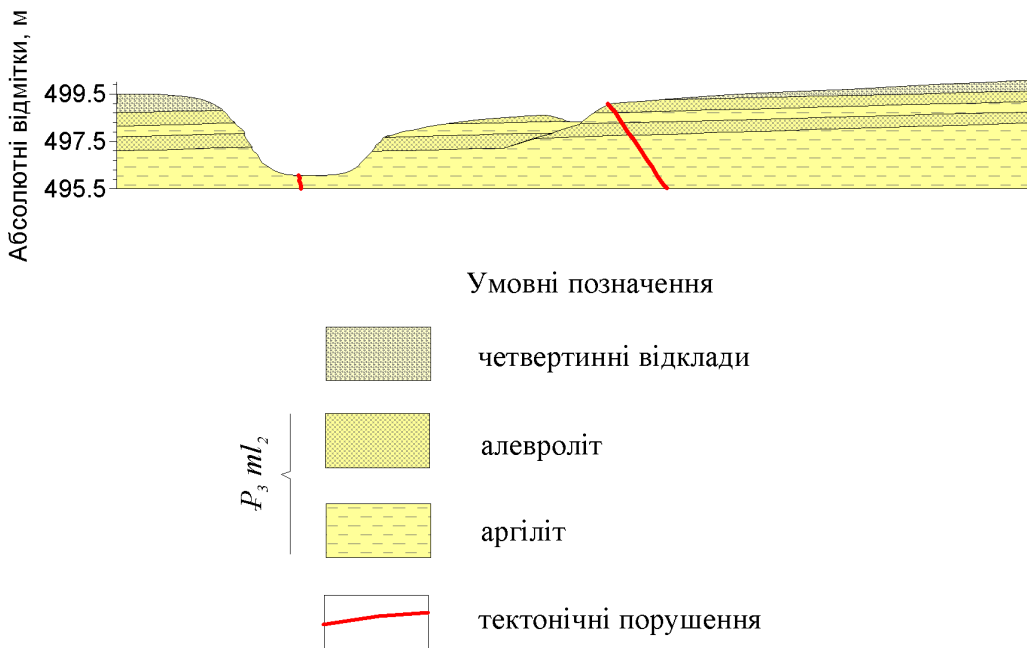


Рисунок 4 – Геологічний розріз по падінню схилу після виникнення зсуву

тертя порід f пропонується розраховувати наступним чином. На рис. 3, 4 зображено геологічний розріз по падінню схилу до і після виникнення зсуву відповідно, що дало змогу встановити дзеркало ковзання I-I, по якому відбулося зсування гірських порід (рис. 5). Оскільки на досліджуваній ділянці вже відбулось зсування гірських порід, тобто порушилась умова рівноваги схилу, то з формули (2) випливає:

$$f = \frac{\sum T_i - CL}{\sum N_i} \quad (3)$$

Значення параметра щеплення порід взято з табличних даних [5] (для водонасичених аргілітів, що утворюють поверхню ковзання на до-

сліджуваній ділянці, $C = 0.5 \cdot 10^3$ кг/м²). В результаті розрахунків за формулою (3) для порід досліджуваної ділянки маємо $f = 0.349$, $arctg(f) = 19.25^0$ (для порівняння, згідно з [5] для водонасичених аргілітів одержано $f = 0.364$, $arctg(f) = 20^0$). Отже, результати моделювання узгоджуються з результатами інженерно-геологічних випробувань в аналогічних умовах і можна стверджувати, що за допомогою суто математичних розрахунків, за наявності дзеркала ковзання, по якому відбулося зсування гірських порід, можна визначити показники, що відповідають за опір порід зсуву,

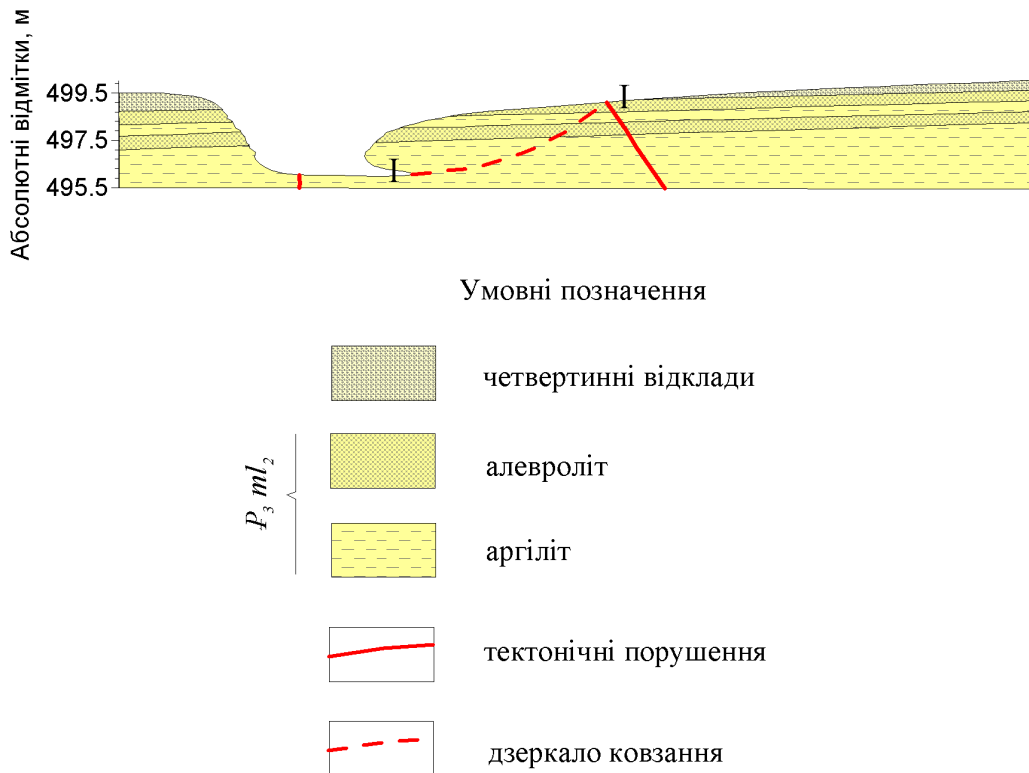


Рисунок 5 – Геологічний розріз по падінню схилу до виникнення зсуву з нанесеним дзеркалом ковзання

не застосовуючи при цьому лабораторних досліджень.

Розрахунки коефіцієнта стійкості для досліджуваної ділянки свідчать, що: (таблиця 2)

1) для ділянки, що розташована вище місця відриву гірських порід, коефіцієнти стійкості складають: 1.013 (для зони ризику розвитку зсуву I-го рівня) та 1.17 (для зони ризику розвитку зсуву II-го рівня). Отже, на даній ділянці схил є нестійким;

2) для ділянки, що розташована від початку берега до границі зон ризику розвитку зсуву I-го та II-го рівня, за умови ліквідації тріщин відриву, коефіцієнти стійкості такі: 1.4 та 1.55 відповідно, тобто схил є стійким для першого ступеня відповідальності. Отже ліквідація тріщин відриву є необхідною умовою збільшення стійкості схилу.

Подальші розрахунки, що враховували можливі фактори, які спричинюють вплив на зсувонебезпеку, проводились для ділянки, на якій коефіцієнт стійкості дорівнює 1.4.

Додаткове навантаження схилу (наявність житлових будинків) не становить суттєвої небезпеки, схил є стійким тому, що коефіцієнт стійкості знижується незначно і коливається в межах 1.4 – 1.25.

Найбільшу небезпеку становить ерозійна діяльність струмка Розсіч. Розрахунки показали, що як підмив нижньої частини берега (вріз) струмком по горизонталі, так і поглиблення русла призведе до зменшення коефіцієнта стійкості досліджуваної ділянки. Так, при врізі струмка в берег на 0.5 та 1 метр, коефіцієнт стійкості становитиме 1.15 та 1.03 відповідно, а

при заглибленні русла на 1 метр, коефіцієнт стійкості зменшиться до значення 1.04, тобто виникне загроза зсуву. Враховуючи те, що струмок Розсіч протікає по м'яких породах (аргілітах), вріз його в берег та поглиблення русла є неминучим.

Наближені розрахунки показали, що для ліквідації загрози зсуву необхідне закріплення берега спорудами, які могли б витримати тиск $8 \cdot 10^3$ кг/пог.м берега.

Висновки

1. Для об'єктивної оцінки зсувної небезпеки та прогнозу активізації зсувних процесів необхідний комплексний підхід.

2. Слід вважати доцільною таку послідовність вивчення зсувів: геологічні дослідження; геофізичні дослідження; інтерпретація одержаних даних; розрахунок коефіцієнта стійкості схилу з врахуванням факторів, що мають вплив на зсувонебезпеку; аналіз одержаних результатів та рекомендації.

3. Теоретичні та експериментальні дослідження, результати яких наведені в статті, є основою для подальших робіт в зазначеному напрямку.

Література

1 Кузьменко Е.Д., Крижанівський Є.І., Карпенко О.М., Журавель О.М. Прогноз розвитку зсувних процесів як фактор забезпечення надійності експлуатації трубопроводів // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2005. – № 4(17). – С. 24-35.

Таблиця 2 — Зведені дані розрахунку коефіцієнта стійкості схилу для різних варіантів

№ з/п	Варіанти розрахунку	Значення коефіцієнта стійкості схилу η
Наявна ситуація		
1	Нижня точка 1 поверхні ковзання знаходиться в руслі струмка Розсіч, а верхня точка 2 – в місці перетину границі зони ризику розвитку зсуву I-го рівня з профілем, за яким проводився розрахунок стійкості схилу (рис. 2)	1.4
2	Нижня точка 1 поверхні ковзання знаходиться в руслі струмка Розсіч, а верхня точка 3 – в місці перетину границі зони ризику розвитку зсуву II-го рівня з профілем, за яким проводився розрахунок стійкості схилу (рис. 2)	1.55
3	Нижня точка 4 поверхні ковзання знаходиться в місці, де вже відбувся відрив гірських порід, а верхня точка 2 – в місці перетину границі зони ризику розвитку зсуву I-го рівня з профілем, за яким проводився розрахунок стійкості схилу (рис. 2)	1.013
4	Нижня точка 4 поверхні ковзання знаходиться в місці, де вже відбувся відрив гірських порід, а верхня точка 3 – в місці перетину границі зони ризику розвитку зсуву II-го рівня з профілем, за яким проводився розрахунок стійкості схилу (рис. 2)	1.17
Ситуація з врахуванням можливих додаткових факторів, що впливають на зсувонебезпеку		
5	Збільшення навантаження на верхню частину зсувонебезпечної ділянки схилу (розрахунок за схемою згідно п/п 1):	
	1) 7 тон	1.36
	2) 10 тон	1.31
	3) 15 тон	1.25
6	Врахування ваги моста та тимчасових додаткових навантажень (розрахунок за схемою згідно п/п 1)	
	1) 0.33 тони	1.401
	2) 3 тони	1.407
	3) 5 тон	1.412
	4) 7 тон	1.418
7	Підрізка схилу внаслідок ерозійної діяльності (заглиблення русла) струмка Розсіч на:	
	1) 1 метр	1.04
	2) 2 метра	0.88
8	Підмив нижньої частини берега (вріз) струмком по горизонталі на:	
	1) 0.5 метра	1.15
	2) 1 метр	1.03

2 Ніщук В.С. Інженерний захист та освоєння території: Довідник. – К.: Основа, 2000. – 344 с.

3 Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. – Л.: Недра, 1977. – 479 с.

4 Маслов Н.Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. – 511 с.

5 Демчишин М.Г. Современная динамика склонов на территории Украины. – К.: Наукова думка, 1992. – 254 с.