

УДК 551.3:504.05:330.131.7

**МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ОБҐРУНТУВАННЯ
ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ З ВРАХУВАННЯМ РИЗИКУ**

*Д.В. Стефанишин, д-р техн. наук;
І. В. Трофимова, канд. фіз.-мат. наук;
О. М. Трофимчук, д-р техн. наук, проф.
(Інститут телекомунікацій і глобального
інформаційного простору НАН України, м. Київ),*

Запропоновано підхід до обґрунтування протизсувних заходів, в основу якого покладено принцип розумно досяжних низьких рівнів ризику.

Предложено подход к обоснованию противооползневых мероприятий, в основу которого положен принцип разумно достижимых низких уровней риска.

The approach to ground of antilandslide arrangements in respect to use of principle of risk as low as reasonably practicable has been proposed.

Зсуви відносяться до широко розповсюджених геологічних явищ, які в останній час активізувалися під впливом антропогенного фактору [1]. Супроводжуючи діяльність людини на схилах та укосах, зсуви завдають значних економічних збитків, загрожують життю й здоров'ю людей. В результаті зсувів відбувається переформування рельєфу місцевості, змінюється її геологічна будова, знищуються сільськогосподарські угіддя, пошкоджуються й руйнуються споруди, будівлі, транспортні комунікації тощо. Загальні збитки від зсувів в розвинених країнах оцінюються в 1–2% валового національного продукту [2]. Кількість жертв від окремих

© Д.В. Стефанишин, І. В. Трофимова, О. М. Трофимчук, 2010

зсувів вимірюється десятками і сотнями чоловік. Зсуви здатні спричиняти жахливі катастрофи, подібні до аварії на водосховищі греблі Вайонт в Північній Італії, в долині р. П'яве, яка відбулася 9 жовтня 1963 р. внаслідок потужного зсуву у водосховище гірських порід об'ємом, що перевищував 250 млн м³, та утворення хвилі витіснення типу цунамі, що обрушилася на береги та перелилася через гребінь греблі висотою 262 м. В результаті було повністю зруйновано 4 населені пункти у верхньому та нижньому б'єфах, загинуло біля 3000 місцевих жителів [1, 3, 4].

Практика показує, що при несприятливому збігу обставин зсуви можуть виникати навіть на пологих схилах та укосах, з нахилом не більше 15—20°. Серед інших стихійних лих зсуви вирізняються надзвичайною різноманітністю чинників, здатних їх породжувати, складністю прогнозування моменту зсуву, неможливістю достовірної оцінки геометричних та кінематичних характеристик тіла зсуву до його формування [1, 5, 6]. В багатьох випадках утворення зсувів є розплатою за невміле, безтурботне природокористування, безпечність і бездіяльність. Однак, слід також зазначити, що в геологічному вимірі існує постійна небезпека порушення стійкості природних схилів та укосів, які знаходяться у стані відносної рівноваги, і без втручання людини.

Територія України також зазнає ураження зсувами. Майже в усіх регіонах, за виключенням можливо лише Рівненської та Волинської областей, відмічається активізація зсувних процесів. Зсуви визнаються найбільш ймовірними джерелами надзвичайних ситуацій в країні серед всіх явищ, що мають геологічне походження (більше 60% їх загальної кількості). Найзначніші осередки зсувів зафіксовані на правобережжі Дніпра, зокрема на берегах Канівського (рис. 1) та Каховського водосховищ, на Чорноморському узбережжі, особливо в Одеській області та в Криму, в Закарпатті та Чернівецькій області. Станом на 01.01.2005 року в країні було зафіксовано біля 20,7 тисяч зсувів, і їх кількість постійно зростає [7]. Зміщення гірських порід, з руйнуванням будівель та комунікацій, реєструються в багатьох населених пунктах. Особливо небезпечні зсуви спостерігаються в Дніпропетровську, Полтаві, Дніпродзержинську, Чернівцях, Маріуполі, Бердянську. Загалом, станом на 2007 р., за даними [8], зсуви поширились на 0,3% площі території країни.



Рис. 1. Зсув на березі Канівського водосховища

(Усього на узбережжі Канівського водосховища зареєстровано й описано більше 300 зсувів).

Актуальність проблематики зсувів на разі визнана у всьому світі. В багатьох країнах розробляються довготермінові національні програми боротьби зі зсувами. В США загальнонаціональна безстрокова програма реалізується з середини 70-х років минулого століття [9]. Подібні програми діють в Австралії, Великій Британії, Канаді, Новій Зеландії [10], у країнах Європейського Союзу, в Японії та Китаї [11—15]. Результатам досліджень з проблематики зсувів щорічно присвячуються численні наукові публікації в широковідомих в світі періодичних виданнях — з будівництва, геотехніки, екології, інженерної геології, природокористування тощо. З метою поєднання зусиль вчених різних країн в останні роки проведено ряд представницьких конференцій та симпозіумів світового рівня [11]. Починаючи з 1987 р., лише Міжнародна дослідницька група по зсувам (International Landslide Research Group), що на разі налічує біля 450 членів з 55 країн світу, опублікувала 22 томи оригінальних робіт, більша частина яких (з 1999 р.) представлена

в Internet [12]. Активну роботу щодо актуалізації досліджень зсувів проводять також Європейська робоча група по зсувам (European Landslide Working Group) [13] і Міжнародний консорціум зі зсувів (International Consortium on Landslides, ICL) [14]. Історичною подією для об'єднання зусиль вчених світу навколо проблеми зсувів став Перший всесвітній форум зі зсувів (The First World Landslide Forum), що відбувся в листопаді 2008 р. в Токіо [15].

В Україні на разі проблематиці зсувів також приділяється значна увага і діє, хоча і не безстрокова, державна програма протизсувних заходів. Зокрема, з метою запобігання надзвичайних ситуацій від зсувів та мінімізації наслідків зсувів, удосконалення механізмів регулювання і контролю за провадженням господарської діяльності на зсувонебезпечних територіях від 22.09.2004 р. була прийнята Постанова Кабінету Міністрів № 1256 «Про затвердження комплексної програми протизсувних заходів на 2005—2014 роки» [7, 16]. Програмою за відведений час передбачається:

створити сприятливі умови для життєдіяльності населення на зсувонебезпечних територіях, зменшити економічні та соціально-екологічні збитки та мінімізувати ризик виникнення надзвичайних ситуацій в результаті зсувів;

підвищити рівень безпеки житлових і промислових об'єктів;

удосконалити науково-методичну базу з питань здійснення протизсувних заходів, поліпшити координацію заходів державного і регіонального рівня;

визначити межі зсувонебезпечних територій, основні фактори активізації зсувів і заходи щодо запобігання зсувам;

забезпечити належний рівень інформування населення з питань здійснення протизсувних заходів.

Більшість заходів, заявлених в Програмі [16], носять скоріше декларативний характер, однак її цінність полягає вже в тому, що вперше в Україні на державному рівні звернули увагу на проблемі зсувної небезпеки в країні та необхідності комплексного підходу до її розв'язання.

Практичне значення для активізації робіт в області проблематики зсувів може мати участь України в міжнародних програмах. Важливий крок у цьому напрямі в 2009 р. був здійснений Інститутом телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України — приєднання до Міжнародного консорціуму зі зсувів.

Міжнародний консорціум зі зсувів (ICL) був створений у січні 2002 р. на Кіотському симпозиумі як міжнародна неурядова й некомерційна наукова організація [14, 17]. В своїй діяльності Консорціум підтримується Всесвітньою метеорологічною організацією (ВМО), Продовольчою і сільськогосподарською організацією Організації Об'єднаних Націй (ФАО), Міжнародною стратегією Організації Об'єднаних Націй зі зменшення небезпеки стихійних лих, а також міжурядовими та урядовими програмами, зокрема, Міжнародною гідрологічною програмою, урядом Японії, іншими урядовими органами.

Основні цілі діяльності Консорціуму на разі полягають у наступному:

- сприяння вивченню зсувів в інтересах суспільства і навколишнього природного середовища та розбудову потенціалу у цій царині, включаючи освіту в країнах, що розвиваються;
- інтеграція геологічних наук і технологій у відповідному культурному й соціальному контексті для оцінки небезпеки зсувів у міських й сільських районах, включаючи об'єкти культурної та природної спадщини, а також сприяння охороні довкілля та об'єктів, що мають значну суспільну цінність;
- об'єднання та координація міжнародних зусиль з оцінки небезпеки зсувів і досліджень з метою зменшення такої небезпеки, внаслідок чого може бути створена ефективна міжнародна організація, яка буде виступати як партнер у рамках різних міжнародних і національних проектів;
- популяризація глобальної багатодисциплінарної програми зі зсувів.

Інститут телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України (ІТГІП НАНУ) в рамках Консорціуму в 2009 р. підготував власну пропозицію і здійснює проект досліджень на тему «Зонування небезпеки зсувів у Харківській області України з використанням ГІС», розраховану до 2011 р. [18].

Численність проблем, пов'язаних зі зсувами, зумовлює необхідність проведення досліджень в різних напрямках. Серед традиційних задач в області прогнозування та контролю небезпеки зсувів виділяються наступні:

- 1) ідентифікація зсувів та причин, що їх породжують, оцінка небезпеки зсувів, складання кадастрів зсувів, зокрема, в електронному форматі;

2) використання геоінформаційних систем з метою моніторингу зсувів;

3) планування та впровадження ефективних заходів для мінімізації наслідків зсувів;

4) фізичне моделювання зсувів;

5) математичне моделювання зсувів, в тому разі і стохастичне, та розрахунки, в тому числі і імовірнісні, стійкості схилів і укосів.

Всі перераховані задачі тісно пов'язуються між собою. Для їх вирішення пропонуються різні формальні (математичні та логічні) та неформальні (експертні) методи прогнозування [2, 5, 6, 10—15, 17—27] (список літератури в жодному разі не претендує на вичерпність з проблематики досліджень), проводяться комплексні (інженерно-геологічні, геоморфологічні, гідрогеологічні, гідрологічні, гідрометеорологічні, біологічні, геодезичні, космічні та ін.) спостереження за потенційно небезпечними територіями, спеціалізовані польові геотехнічні та фільтраційні дослідження властивостей гірських порід тощо. Всі ці дослідження носять комплексний, системний характер, і, безперечно, сприяють зниженню загроз, що несуть зсуви. Однак, проблема зсувів все ще є далекою від вирішення і залишається однією з найбільш складних задач, що стоять перед геологами, інженерами, екологами, фахівцями в області безпеки життєдіяльності тощо.

В останні роки значна кількість публікацій присвячується й такому, відносно новому, узагальнюючому, напрямку досліджень в заявленій області, як оцінка ризиків зсувів [2, 7, 17, 28—34]. Концептуальні засади для оцінки ризиків зсувів були закладені в 70-х роках минулого століття й базувалися вони на ідентифікації та регіональному картуванні потенційної небезпеки від зсувів [2]. Як відомо, сучасне трактування різних ризиків [7], особливо від природних та техногенних загроз, орієнтується на використання імовірнісного підходу при їх кількісному оцінюванні. Імовірнісний підхід активно утверджується в останні роки і при оцінці ризиків зсувів. В рамках імовірнісного підходу розробляються різні методики кількісної оцінки ризиків зсувів — здебільшого в залежності від способів представлення вхідних даних [17, 28]. Однак, незважаючи на заявлені перспективи, які відкриває кількісне оцінювання ризиків зсувів, питання корисності таких оцінок для вирішення практичних задач подолання небезпеки зсувів все ще залишається без відповіді.

Багатовіковий досвід боротьби зі зсувами, накопичений людством, свідчить про те, що найбільш дієвим захистом від них є їх запобігання. Це передбачає проведення масштабних протизсувних заходів: меліоративних робіт з відведення поверхневих й ґрунтових вод, штучного перетворення рельєфу зі зменшення навантаження на схили та укоси (див. рис. 2), фіксації схилів та укосів за допомогою підпірних стінок тощо.



Рис. 2. Роботи по ліквідації зсуву, що виконувалися на початковій стадії будівництва Міатлінського гідровузла на р. Сулак в Росії (Роботи по стабілізації схилу в районі майбутнього водосховища тривали більше 8 років).

Наскільки це можливо за десять років, відведених на реалізацію національної Програми [7, 16], з яких вже п'ять років минули, подолати проблеми, пов'язані зі зсувами в межах всієї країни, на це питання важко дати ствердну відповідь. Але з тим, що практична реалізація протизсувних заходів потребує значних зусиль, коштів, ресурсів, часу, напевно погодиться будь-який фахівець.

Оскільки протизсувні заходи потребують затрат — фінансових, матеріальних, часу тощо, то, з точки зору їх ефективності щодо мінімізації ризику виникнення надзвичайних ситуацій та підвищення безпеки населення і народногосподарських об'єктів, вони мають виправдовуватися зниженням ймовірних втрат (ризиків збитків) від зсувів — на зсувонебезпечній ділянці, в межах населеного пункту, регіону тощо. При цьому зниження ймовірних втрат (ризиків збитків) від зсувів доцільно розглядати як досягнутий ефект, а затрати на протизсувні заходи теж мають трактуватися як фактори ризику.

В ринкових умовах, коли роль економічної складової при вирішенні проблем, пов'язаних з безпекою життєдіяльності й природокористування, зростає, ключовим принципом обґрунтування рішень щодо протизсувних заходів може стати принцип розумно досяжного низького рівня ризику (*risk as low as reasonably practicable*, ALARP). Цей принцип успішно використовується на практиці в області промислової безпеки з 1974 р. у Великій Британії, інших країнах Британської Співдружності [35].

Згідно з принципом ALARP підвищення безпеки населення і об'єктів слід погоджувати з економічними можливостями. При цьому рівні ризику в зонах ураження зсувами можуть вважатися прийнятними в усіх випадках, якщо вони є меншими за встановлену межу терпимості, і коли подальше їх зменшення стає або практично неможливим (за наявних економічних, технологічних та ін. умов), або ціна такого зменшення є непропорційно великою порівняно з отриманим при цьому підвищенням безпеки.

Пропонується використати принцип ALARP щодо оцінювання протизсувних заходів в рамках оригінального методу оцінки повного ризику альтернатив на основі їх порівняння. Повний ризик варіанта протизсувних заходів при цьому включає затрати на їх проведення як складову ризику та зниження ймовірних втрат (ризиків збитків) від зсувів при альтернативних протизсувних заходах — як ризик невикористаних можливостей.

Основні положення методу порівняння альтернатив з врахуванням ризику невикористаних можливостей наведені в [36-38].

Згідно з цим методом для скінченної множини \mathbf{A} попарно порівнюваних альтернатив $a_i \in \mathbf{A}$, $a_j \in \mathbf{A}$, $i, j = \overline{0, n}$, $i \neq j$, для яких задані невід'ємні значення деяких числових характеристик l_i , g_i та l_j , g_j , що описують програшні l та виграшні g їх

якості, повний ризик альтернативи a_i при її порівнянні з a_j , $i \neq j$, оцінюється як величина r_{ij} , що є сумою програшу l_i від a_i та виграшу g_j від a_j :

$$r_{ij} = l_i + g_j. \quad (1)$$

Відповідно, для a_j при її порівнянні з a_i : $r_{ji} = l_j + g_i$.

У випадку, коли складові повного ризику мають різні одиниці вимірювання, для їх кількісного оцінювання може використовуватися бальний підхід [32].

Якщо формування бальних оцінок здійснювати на основі єдиної логарифмічної шкали, то оцінка ризику для параметра y_i , в балах, буде:

$$r(y_i) = \mu_i \cdot \lg y_i + y_{i,0}, \quad (2)$$

де μ_i — модуль, $y_{i,0}$ — нуль-пункт (координата початку відліку) на єдиній (інтегральній) логарифмічній шкалі довжиною L (звичай $L = 10$) для параметра y_i :

$$\mu_i = \frac{L}{\lg y_{i,\max} - \lg y_{i,\min}}, y_{i,0} = -\mu_i \lg y_{i,\min}, \quad (3)$$

$y_{i,\max}$, $y_{i,\min}$ — максимальне й мінімальне значення y_i . При $y_{i,\min} = 0$:

$$y_{i,0} = 0, \mu_i = \frac{L}{\lg y_{i,\max}}. \quad (4)$$

Адитивний підхід до оцінки повного ризику на основі лінійної згортки ефектів (1) при використанні логарифмічної шкали цілком виправдовується і при вимірюванні окремих ризиків в бальних одиницях. При цьому в якості факторів ризику, в принципі, можуть розглядатися будь-які характеристики, за якими оцінюються протизсувні заходи з точки зору можливих «програшів» та «виграшів».

В (1) програш l_i альтернативи a_i при порівнянні a_i з a_j , $i \neq j$, називається системним (власним) ризиком a_i , а виграш g_j альтернативи a_j при порівнянні a_i з a_j , $i \neq j$ — неси-

стемним ризиком (ризиком невикористаних можливостей) a_i в порівнянні з a_j .

Кращою при попарному порівнянні вважається альтернатива з мінімальним ризиком. Тобто альтернатива a_i є кращою при її порівнянні з альтернативою a_j , якщо $r_{ij} < r_{ji}$.

Такий підхід до обґрунтування рішень щодо проведення протизсувних заходів з метою забезпечення безпеки населення та об'єктів народного господарства, оснований на оцінці ризику альтернатив та реалізації принципу ALARP, дозволяє цілеспрямовано реалізувати на практиці концепції придатності, оптимізації й адаптивності [39].

Згідно з концепцією *придатності* підвищення безпеки в результаті прийнятого i -го рішення (варіанта системи протизсувного захисту території тощо) має бути економічно доцільним, тобто таким,

щоб сумарні додаткові затрати $\sum_{t=1}^T \Delta c_{i,t}$ на відповідні протизсувні

заходи компенсувалися зниженням сумарних ймовірних втрат $\sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t}$:

$$\sum_{t=1}^T \Delta c_{i,t} \leq \sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t}, \quad (5)$$

$$\Delta c_{i,t} = c_{i,t} - c_{0,t}, \quad \Delta l_{i,t} = l_{0,t} - l_{i,t}, \quad (6)$$

де $t \in \{1; T\}$ — інтервал часу, на якому здійснюється оцінювання (T — період, на який розраховані протизсувні заходи); $\Delta c_{i,t}$ — узагальнені, дисконтовані на момент оцінювання, додаткові щорічні затрати на протизсувні заходи (капітальні вкладення, операційні витрати тощо) в порівнянні з початковим («нульовим», базовим — індекс «0») станом території, варіантом забезпечення безпеки населення тощо; $\Delta l_{i,t}$ — величина зниження щорічних ймовірних втрат l (щорічних ризиків збитків тощо) в результаті зсуву (зсувів) при i -му варіанті протизсувних заходів в порівнянні з початковим («нульовим», базовим — індекс «0») станом; $c_{0,t}$, $l_{0,t}$, $c_{i,t}$, $l_{i,t}$ — відповідні оцінки узагальнених затрат c на протизсувні заходи і ймовірних втрат (ризиків збитків) l в результаті зсуву (зсувів)

при початковому стані території та i -му варіанті протизсувних заходів, приведені до моменту часу t .

Реалізація концепції придатності у вигляді (5), (6) дозволяє при оцінюванні протизсувних заходів відбирати економічно доцільні варіанти.

Згідно з концепцією *оптимізації* в якості прийнятної альтернативи проведення протизсувних заходів може вибиратися альтернатива, яка забезпечує на інтервалі $t \in \{1; T\}$ максимум функціо-

налу $\sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t} - \sum_{t=1}^T \Delta c_{i,t}$:

$$\sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t} - \sum_{t=1}^T \Delta c_{i,t} \rightarrow \max. \quad (7)$$

При цьому величину $\sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t}$, $t \in \{1; T\}$, можна трактувати як

очікуваний вигравний ефект від i -го варіанта протизсувних заходів, направлених на підвищення безпеки населення, народногосподарських об'єктів тощо, в порівнянні з початковим, базовим станом території, що підлягає захисту.

Нарешті, згідно з концепцією *адаптивності* при обґрунтуванні протизсувних заходів шляхом попарного порівняння вибирається альтернатива, в якій краще всього поєднуються різні складові повного ризику (1): ризик додаткових, надмірних затрат, і ризик невикористаних можливостей.

Запишемо повний ризик i -го варіанта протизсувних заходів при його порівнянні з j -м варіантом у вигляді:

$$r_{ij} = \Delta C_i + \Delta L_j, \quad (8)$$

де $\Delta C_i = \sum_{t=1}^T \Delta c_{i,t}$ — складова системного ризику (ризиків затрат)

i -го варіанта протизсувних заходів, $\Delta L_j = \sum_{t=1}^T \Delta l_{j,t}$ — ризик

невикористаних можливостей i -го варіанта протизсувних заходів при його порівнянні з j -ю альтернативою; $\Delta c_{i,t} = c_{i,t} - c_{0,t}$, $\Delta l_{j,t} = l_{0,t} - l_{j,t}$.

Відповідно повний ризик j -ї альтернативи в порівнянні з i -м варіантом буде:

$$r_{ji} = \Delta C_j + \Delta L_i, \quad (9)$$

де
$$\Delta C_j = \sum_{t=1}^T \Delta c_{j,t}, \quad \Delta L_i = \sum_{t=1}^T \Delta l_{i,t}; \quad \Delta c_{j,t} = c_{j,t} - c_{0,t},$$

$$\Delta l_{i,t} = l_{0,t} - l_{i,t}.$$

$a_i \setminus a_j$	a_0	...	a_i	a_j	...
a_0	—	...	ΔL_i	ΔL_j	...
...	...	—
a_i	ΔC_i	...	—	$\Delta C_i + \Delta L_j$...
a_j	ΔC_j	...	$\Delta C_j + \Delta L_i$	—	...
...	—

Рис. 3. Фрагмент таблиці рішень $\|r_{ij}\|$ при $\Delta c_{0,t} = 0$

В залежності від кількості альтернатив, що формують множини \mathbf{A} , для кожного з варіантів може задаватися $n-1$ значень повного ризику r_{ij} , $i, j = \overline{0, n}$, $i \neq j$. Упорядкуємо альтернативи $a_i \in \mathbf{A}$, $i = \overline{0, n}$, за зростанням затрат ΔC_i . Отримуємо таблицю рішень $\|r_{ij}\|$, яка зводиться до n рядків, з головною діагоналлю, що не заповнюється (див. рис. 3).

В результаті попарного порівняння альтернатив, починаючи з пари (a_0, a_1) з ризиками r_{01} , r_{10} , відповідно, і так далі, з відбором на кожному кроці варіанта з меншим повним ризиком r_{ij} , може бути відібраний такий варіант протизсувних заходів, який отримуватиме менший ризик при попарному його порівнянні

з усіма альтернативами, що розглядаються в процесі прийняття рішення.

Підхід, що нами пропонується, дозволяє формалізувати процес прийняття рішень щодо протизсувних заходів з врахуванням різних факторів ризику — факторів, з якими пов'язуються безпосередні втрати, затрати тощо, а затрати на протизсувні заходи безперечно є такими факторами ризику, і факторів, з якими можуть пов'язуватися невикористані можливості, заради чого власне протизсувні заходи і мають проводитися. Такий підхід має стимулювати і отримання адекватних кількісних оцінок ризиків, адже саме в процесі прийняття рішень оцінки ризиків зсувів і мають використовуватися на практиці.

Аналіз і оцінку ризиків зсувів при такому підході буде ітераційним процесом, процесом, що повторюється, коли надходить нова інформація про зміну параметрів і факторів, які впливають на стійкість схилів, геометричних та кінематичних характеристик зсувних тіл та ймовірних збитків. З новою інформацією оцінки ризиків збитків від зсувів модифікуються. При цьому можуть змінюватися впливові фактори ризику — виявлятися нові обставини, фактори і параметри, «внески» яких в ризики стають визначальними. Знання впливових факторів ризиків збитків від зсувів допомагає сформулювати альтернативи щодо заходів по їх мінімізації й оцінити затрати на реалізацію цих заходів. Ефективність протизсувних заходів, в свою чергу, може оцінюватися шляхом співставлення ризиків, які прогнозуються до і після їх запровадження. В такому вигляді кількісна оцінка ризиків зсувів стає інтегральною складовою процесу прийняття рішень, пов'язаних з подоланням небезпеки зсувів, оптимізацією природокористування в місцях їх поширення, в умовах невизначеності інформації про зсуви та загрози, пов'язані з ними.

* * *

1. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика / В.Д. Ломтадзе. — Л.: Недра, 1977. — 479 с.

2. Vaunat J. Analysis of Post-Failure Slope Movements within the Framework of Hazard and Risk Analysis // J. Vaunat, S. Leroueil. — Natural Hazards. 2002. Vol. 26. No. 1. — P. 81—107.

3. http://en.wikipedia.org/wiki/Landslide#Historical_landslides.

4. Андерсон Дж. Г.К. Интересные случаи из практики инженерной геологии / Дж. Г.К. Андерсон, К.Ф. Тригл // Пер. с англ. — М.: Недра, 1981. — 224 с.

5. Jakob M. Hydrometeorological thresholds for landslide initiation and forest operation shutdowns on the north coast of British Columbia / M. Jakob. — Landslides. 2006. Vol. 3, No. 3. — P. 228—238.

6. Yang Hong Use of satellite remote sensing data in the mapping of global landslide susceptibility / Yang Hong, R. Adler, G. Huffman. — Natural Hazards. 2007. Vol. 43, No. 2. — P. 245—256.

7. Лисиченко Г.В. Природний, техногенний та екологічний ризику: аналіз, оцінка, управління / Г.В. Лисиченко, Ю.Л. Забулонов, Г.А. Хміль. — К.: Наук. думка, 2008. — 542 с.

8. Національна екологічна політика України: оцінка і стратегія розвитку. Міністерство охорони навколишнього природного середовища України. Підготовлено в рамках проекту Програма Розвитку ООН / Глобальний Екологічний Фонд «Оцінка національного потенціалу в сфері глобального екологічного управління в Україні». — К.: 2007. — 184 с.

9. <http://landslides.usgs.gov/>.

10. <http://www.bgs.ac.uk/landslides/>.

11. <http://landslides.usgs.gov/nlic/meetings.php>.

12. <http://ilrg.gndci.cnr.it/newsletters.html>.

13. <http://eusoils.jrc.ec.europa.eu/library/themes/LandSlides/wg.html>.

14. <http://www.iclhq.org/>

15. <http://www.iclhq.org/WLFweb/WLF.htm>.

16. Постанова Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 року № 1255. «Про затвердження комплексної програми протизсувних заходів на 2005—2014 роки».

17. Kyoji Sassa. Landslides. Risk Analysis and Sustainable Disaster management / Sassa Kyoji, Fukuoka Hiroshi, Wang Fawu, Wang Conghui. — Springer-Verlag, Berlin, 2005.

18. <http://www.iclhq.org/Coordinating%20Projects.htm>.

19. Yoshimatsu H. A review of landslide hazards in Japan and assessment of their susceptibility using an analytical hierarchic process (AHP) method / H.Yoshimatsu, S. Abe. — Landslides. 2006. Vol. 3. No. 2. — P. 149—158.

20. Saro Lee. Application and verification of fuzzy algebraic operators to landslide susceptibility mapping / Lee Saro. — Environmental Geology. 2007. Vol. 52. No. 4. — P. 615—623.

21. Revellino P. Morphological methods and dynamic modelling in landslide hazard assessment of the Campania Apennine carbonate slope / P. Revellino, F.M. Guadagno, O. Hungr. *Landslides*. 2008. Vol. 5. No. 1. — P. 59—70.

22. Pandey A. Landslide Hazard Zonation using Remote Sensing and GIS: a case study of Dikrong river basin, Arunachal Pradesh, India / A. Pandey, P.P. Dabral et al. *Environmental Geology*. 2008. Vol. 54. No. 7. — P. 1517—1529.

23. Chia-Nan Liu. Mapping susceptibility of rainfall-triggered shallow landslides using a probabilistic approach / Liu Chia-Nan, Wu Chia-Chen. — *Environmental Geology*. 2008. Vol. 55. No. 4. — P. 907—915.

24. Pradhan B. Use of geospatial data and fuzzy algebraic operators to landslide-hazard mapping / B. Pradhan, Lee Saro, M.F. Buchroithner. — *Applied Geomatics*. 2009. Vol. 1. No. 1—2. — P. 3—15.

25. Трофимчук О.М. Аналіз критичної відстані між утримуючими елементами для зсувів зрізу в глинах неогенового віку м. Чернівці та рекомендації по їх стабілізації / О.М.Трофимчук, Т.Ю.Калюх, Ю.І. Калюх, В.В. Половецький // Зб. наукових праць ІХ Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні технології управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях». 6—10 вересня 2010 р. Київ — Харків — АР Крим. 2010. — С. 295—301.

26. Montrasio L. Rainfall-induced shallow landslides: a model for the triggering mechanism of some case studies in Northern Italy / L. Montrasio, R. Valentino, G.-L. Losi. *Landslides*. 2009. Vol. 6. No. 3. — P. 241—251.

27. Mikos M. Mechanisms of landslides in over-consolidated clays and flysch (Activity scale and targeted region: national) / A. Petkovsek, B. Majes. — *Landslides*. 2009. Vol. 6. No. 4. — P. 273—375.

28. Landslide risk management concepts and guidelines. Australian Geomechanics Society. Sub-Committee on Landslide risk management / Australian Geomechanics. March, 2000. — P. 49—92.

29. Guzzetti F. Evaluation of Flood and Landslide Risk to the Population of Italy / F. Guzzetti, C.P. Stark, P. Salvati. — *Environmental Management*. 2005. Vol. 36. No. 1. — P. 15—36.

30. Duzgun H.S.B. Landslide risk assessment and management by decision analytical procedure for Derekoy, Konya, Turkey / H.S.B. Duzgun, A. Ozdemir. — *Natural Hazards*. 2006. Vol. 39. No. 2. — P. 245—263.

31. Hufschmidt G. Evolution of natural risk: analysing changing landslide hazard in Wellington, Aotearoa // G. Hufschmidt, M.J. Crozier. — New Zealand / Natural Hazards. 2008. Vol. 45. No. 2. — P. 255—276.

32. Kanungo D.P. et al. Landslide risk assessment using concepts of danger pixels and fuzzy set theory in Darjeeling Himalayas / D.P. Kanungo et al.. Landslides. 2008. Vol. 5. No. 4. — P. 407—416.

33. Goransson G.I. Combining landslide and contaminant risk: a preliminary assessment / G.I. Goransson, D. Bendz, P.M. Larson. — Journal of Soils and Sediments. 2009. Vol. 9. No. 1. — P. 33—45.

34. Mowen Xie Deterministic landslide risk assessment at a past landslide site / Xie Mowen, Esaki Tetsuro et al. — Geotechnical and Geological Engineering. 2009. Vol. 27. No. 3. — P. 355—364.

35. Маршалл В. Основные опасности химических производств / В. Маршалл. — М.: Мир, 1989. — 672 с.

36. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. — К.: Азимут-Україна, 2009. — 104 с.

37. Stefanyshyn D.V. A method of decision making at risk in natural resources use by pairwise comparison of alternatives with taking account of risks of lost opportunities / D.V. Stefanyshyn, Y.D. Stefanyshyna // Proc. of Int. Scientific School «Modelling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems». July 7—11, 2009. — Saint-Petersburg, Russia. P. 435—439.

38. Стефанишин Д.В. Метод прийняття рішення на основі парного порівняння альтернатив з врахуванням ризику невикористаних можливостей / Д.В. Стефанишин, Ю.Д. Стефанишина // Системний аналіз та інформаційні технології: матеріали 12-ї науково-технічної конференції САІТ-2010, Київ, 25—29 травня 2010 р. — К.: ННК «ІПСА» НУТУ «КПІ», 2010. С. 158.

39. Векслер А.Б. Надежность, социальная и экологическая безопасность гидротехнических объектов: оценка риска и принятия решений / А.Б. Векслер, Д.А. Ивашинцов, Д.В. Стефанидин. — СПб.: Изд-во ОАО «ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева», 2002. — 589 с.

Отримано 15.09.2010 *д.*