

УДК 550.8.013

К. Бойко, асп.
Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
ІНІ "Інститут геології", вул. Васильківська, 90, м. Київ, 03022, Україна
E-mail: boyko_ekateruna@ukr.net

МЕТОДИКА ОЦІНКИ РИЗИКУ ВИНИКНЕННЯ НОВІТНІХ ЗСУВІВ ПІВДЕННО-ЗАХІДНОГО БЕРЕГА КРИМУ

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром геол. наук, доц. О.М. Іванік)

Інженерно-геологічне освоєння території південного берега Криму, що є геодинамічно активною геолого-тектонічною структурою, зазвичай ускладнювалось широким розповсюдженням екзогенних геологічних процесів (ЕГП). Особливо небезпечним явищем для регіону є зсуви. Практика закріплення схилів та усунення основних факторів зсувоутворення на досліджуваній території триває майже півстоліття. За цей період було розроблено комплекс методик щодо здійснення інженерно-геологічних заходів, а також впроваджено основи прогнозування активізації зсувів та їх виявлення на місцевості. Проте, незважаючи на закріплення контрфорсів та стабілізацію грандіозних зсувних систем, нині спостерігається тенденція активізації та утворення новітніх зсувів неглибокого залягання техногенного та ерозійного походження. Останні формуються у покровних елювіально-делювіальних відкладах, що залягають на флішевих формаціях таврійської серії та середньоюрського віку. Повсюдне поширення невеликих за розміром та неглибоких зсувів створює проблему їх виявлення під час моніторингових робіт. Методи просторового моделювання зсувонебезпечних територій ("геодинамічного" або "зсувного" потенціалу), що ґрунтуються на теорії ймовірності, були розроблені на прикладі окремих зсувних районів, тому потребують залучення детальної інформації на основі великомасштабних зйомок. З іншого боку, оцінка схильності території до розвитку зсувів за розрахунковими показниками – коефіцієнтами лінійної та площинної ураженості – не відображає динаміки та напрямку розвитку процесу. Таким чином, необхідність оцінки ризику активізації та утворення сучасних зсувів потребує створення більш прийнятної з точки зору зазначених критеріїв – інформативності та надійності, методу регіонального просторового аналізу розвитку процесу. Запропонована автором методика дозволяє оцінювати ризик поширення сучасних зсувів за допомогою інтегрованого показника, що враховує як активність (динаміку розвитку) зсувів у межах регіону, так і інтенсивність їх прояву (просторове ураження). Вперше, з метою обґрунтування розподілу коефіцієнта ризику в межах південно-західного узбережжя Криму, було надано кількісну оцінку критерію генетичного типу вміщуючих порід на основі історико-геологічного методу Г.С. Золотарьова. В результаті дослідження було складено карту-схему районування досліджуваної території за ступенем ризику прояву зсувів неглибокого залягання. Побудована модель відображає як напрямок розвитку зсувів, так і стан геологічного середовища. Карта-схема оцінки ризику поширення зсувів у комплексі з картою-схемою техногенного навантаження є інформативною основою для районування території за ступенем стійкості геологічного середовища до різних типів техногенного впливу, а також до розвитку зсувів неглибокого залягання.

Ключові слова: ризик, зсув у покровних відкладах, активність, ураження, стійкість схилу.

Постановка проблеми. Впродовж останніх 10-20 років геологічне середовище південного берега Криму (далі ПБК) зазнає інтенсивного впливу та змін внаслідок антропогенної діяльності. На території південного узбережжя межі геологічного середовища визначаються глибиною впливу інженерно-господарської діяльності людини, яка охоплює відклади верхньопліоценового-четвертинного віку, а також глибиною, на якій відбуваються геолого-геохімічні процеси та утворюються розривні порушення – горизонт поширення верхньотріасового-нижньоюрського комплексу порід таврійської серії флішової формації. В умовах широкого розповсюдження екзогенних геологічних процесів (ЕГП) такі зміни є особливо несприятливими, оскільки можуть призвести до активізації та виникнення останніх. Найпоширенішими та найбільш небезпечними ЕГП, що чітко реагують на порушення природних інженерно-геологічних умов, є зсуви. Активізація зсувів у межах регіону пов'язана з масштабним освоєнням земель під санаторно-курортне й житлове будівництво, інтенсивним антропогенним впливом на схили (у вигляді підрізків та перевантаження) внаслідок прокладання дороги. З початку вивчення процесу в межах регіону спостерігається постійна зсувна діяльність, що проявляється у виникненні нових зсувних об'єктів та активізації умовно стабільних. Однак, не всі генетичні типи зсувів, що поширені в межах регіону, мають однаковий ступінь активізації в сучасних умовах. За даними Кримської зсувної станції, приріст зсувів антропогенного походження за період з 1972 по 2011 рр складає близько 70%, у той час, коли кількість зсувів природного походження (разом із абразійними) збільшилась тільки на 30-40% [5]. Техногенні зсуви за режимом активності після їх утворення не відрізняються від природних ерозійних зсувів. Крім того, вони формуються у поверхневих елювіально-делювіальних відкладах і чітко реагують на всі сезонні та багаторічні зміни режиму вологості, а їх утворення пов'язується з підрізкою підшоми схилів та приурочено до рівнів доріг, буді-

вельних майданчиків, а також ерозійних рівнів. У зоні потенціального та існуючого впливу таких зсувів знаходяться важливі господарські об'єкти, тому задачі їх завчасного виявлення та моделювання їхнього розвитку, а також оцінки ризиків життєдіяльності в зоні їхнього прояву, є пріоритетними в теперішніх умовах.

Аналіз досліджень та виділення невирішених питань. Історія вивчення природи схилів гравітаційних процесів ПБК триває майже два століття. Тривалий період основою досліджень були постійні режимні спостереження на стаціонарних об'єктах – опорних зсувних полігонах, започатковані Н.Ф. Погребовим, В.Ф. Пчелінцевим, І.Е. Худяєвим. Фактичний матеріал, який було отримано в результаті проведення ряду робіт на стаціонарах – гідрогеологічних, інженерно-геологічних, геофізичних, геодезичних, і т. ін., дозволив дослідити та сформулювати уявлення щодо факторів активізації та утворення зсувів. Значний обсяг робіт, що стосуються аналізу зсувоутворюючих факторів у межах південного узбережжя, належить А.І. Шеко, І.Б. Корженевському, В.Н. Славянову, І.Ф. Єришу, О.П. Ємельяновій. У межах досліджуваного регіону фактори утворення зсувів прийнято поділяти на "фактори-умови" та "фактори-процеси" [4]. Оскільки ознакою підготовки зсуву на схилі є зменшення коефіцієнта стійкості, всі фактори розглядаються з позиції їх впливу на даний параметр. Так, фактори-умови, що діють постійно, необоротно впливають на коефіцієнт стійкості, зменшуючи його. До таких факторів (та їх похідних) відносять: геолого-літологічні (стратиграфія, фізико-механічні властивості ґрунтів, тектоніка), геолого-морфологічні (експозиція та крутизна схилів, їхній вік, історія розвитку рельєфу). Фактори-процеси, або тригерні фактори, впливають переважно оборотно на режим стійкості схилу, вони здатні вивести схил зі стану рівноваги тільки тоді, коли коефіцієнт стійкості схилу вже було знижено факторами-умовами. До таких факторів відносять: абразію, ерозію, сезонні та багаторічні коливання атмосферних

опадів, техногенне навантаження (підрізки, перевантаження), землетруси, міцність та обводнення ґрунтів у зоні аерації. Таким чином, геологічні та геоморфологічні фактори створюють умови та визначають просторові закономірності поширення зсувів, тобто ураження території. Особливості літології, стратиграфії, тектонічна роздробленість флішу, крутизна схилів та історія розвитку рельєфу, а також фізико-механічні властивості ґрунтів, формують середню величину коефіцієнта стійкості зсувних систем. Тому аналіз та вивчення саме цих факторів є важливим етапом у процесі розробки проектів стабілізації зсувів та являють собою основу регіональних прогнозів зсувоутворення. Початок використання статистичних методів виявлення умов та факторів розвитку зсувів було покладено співробітниками інституту ВСЕГІНГЕО, а також Ялтинської комплексної гідрогеологічної та інженерно-геологічної партії (А.І. Шеко, К.А. Гулакян, В.В. Кюнтцель, Г.П. Постоєв). Серед найпоширеніших слід виділити метод суміщення рядів даних активізації зсувів та кількості атмосферних опадів, або рівнів підземних вод, а також метод просторового моделювання – метод геодинамічного потенціалу. За даною методикою, визначення ймовірності виникнення чи активізації зсувів на досліджуваній території зводиться до визначення ймовірності зсувоутворення під впливом конкретного поєднання факторів, що визначають стан природних умов на окремих ділянках. Враховуючи складні та мінливі у просторі інженерно-геологічні умови південно-західного узбережжя Криму, застосування методики можливе лише на локальному рівні, наприклад, у межах конкретних зсувних систем, а також передбачає залучення інформації, джерелом отримання якої мають слугувати геологічна, гідрогеологічна, геоморфологічна та інженерно-геологічна зйомки масштабу 1:2000 або 1:5000 у поєднанні з постійним візуальним обстеженням зсувних схилів. Однак, на сьогодні такі роботи не виконуються через брак фінансування. Зсуви неглибокого закладання є моногенними, тобто утворюються та активізуються під впливом визначених факторів, а також характеризуються відносно простою будовою та мають одну поверхню ковзання. Домінуючим фактором, що визначає просторову закономірність поширення останніх, є геолого-літологічний фактор – наявність зон послаблення в елювіально-делювіальному шарі порід, що обумовлено відсутністю міцних цементацийних зв'язків у суглинистих породах даного генезису, а також їх схильністю до швидкого воднасичення та набрякання. Як чинники, що здатні вивести потенційно зсувний схил із стану рівноваги, розглядаються техногенне навантаження та атмосферні опади. Дослідження пропонує визначити регіональні критерії формування зсувів через непрямі критерії зазначених факторів. Геологічний фактор пропонується проаналізувати, використовуючи історико-геологічний метод Г.С. Золотарьова, а опосередкований вплив техногенного фактора – через інтенсивність активізації зсувів.

Постановка завдання. Метою дослідження є створення практично значимої частини регіональної оцінки умов розвитку техногенних та ерозійних зсувів, а також впровадження та обґрунтування методу оцінки ризиків для території південно-західного узбережжя Криму і схильності до розвитку техногенних та ерозійних зсувів, що формуються у покривних відкладах. Даний метод має враховувати просторову та часову складову поширення зсувів, ґрунтуватися на використанні інформації, отриманої у попередніх дослідженнях, а також оцінювати ступінь можливого впливу зсувів на господарські об'єкти.

Характеристика території досліджень. Територія досліджень співпадає з межами поширення Південно-

Західного зсувного підрайону, що виділяється в межах інженерно-геологічної області низкогір'я ПБК (відповідно до схеми загального інженерно-геологічного районування Криму). Південно-Західний зсувний підрайон обмежений із заходу мисом Айя, зі сходу – горами Кастель, Урага й Чамни-Бурун, з півночі – подошвою хребта Яйли, з півдня – сучасною береговою лінією Чорного моря. Його найбільша ширина змінюється від 5-6 км на сході до 0,5 км на заході. Протяжність берегової смуги складає 87 км. Тут на площі 300 км² спостерігається утворення близько 600 зсувів. Досліджувана територія характеризується найбільшим у Криму коефіцієнтом площинної ураженості зсувами – близько 9% території. Зсуви підрайону представлені складними зсувами, що складаються з декількох зсувних рівнів та мають більше однієї поверхні ковзання, а також зсувами-потоками, що формуються у делювіально-елювіальних відкладах флішової та карбонатної формацій.

Виклад основного матеріалу досліджень. З метою оцінки схильності території до поширення в її межах покривних зсувів природного та техногенного генезису пропонується використовувати методологічні основи оцінки ступеня інженерного ризику як регіональної складової контролю геотехнічного стану геологічного середовища, а також інтегрованого показника, що дозволяє виявити існуючі і прогнозовані зміни під впливом техногенного фактора. Практика оцінки просторової складової ступеня інженерного ризику в межах Південно-Західного зсувного підрайону зводиться до розрахунку ураженості інженерно-геологічних ділянок – зсувних районів, виділених відповідно до схеми гідрогеологічного районування за М.В. Чуриновим [3]. Коефіцієнт ураженості ($K_{пр}$) у даному випадку є відношенням сумарної площі виявлених активних проявів зсувів (A) до площі (S) досліджуваного зсувного району [1]:

$$K_{пр} = \frac{A}{S} \quad (1)$$

Проте, існує ряд недоліків при такому способі розрахунку. Так, наприклад, при майже однаковій величині сумарної площі зсувів у межах зсувних ділянок "Бекетове-Оползневе" (5,86 км²) та "Симеїз-Мисхор" (4,43 км²), показники їх ураженості суттєво відрізняються й становлять відповідно 50% та 11%, що пояснюється різницею у величинах площі самих ділянок. З іншого боку, коефіцієнт ураженості, отриманий за формулою (1), не відображає динаміки та інтенсивності процесу, оскільки внаслідок злиття зсувів їхня сумарна площа може залишатися сталою, навіть при підвищеній активності процесу в межах конкретної ділянки.

Автор дослідження пропонує використовувати таку методику визначення ризику активізації зсувів у поверхневих відкладах, що враховує як активність та інтенсивність процесу, так і його зв'язок з геологічними умовами. Як ознака, що характеризує територіальний розподіл зсувів у межах Південно-Західного зсувного підрайону, використовується інтенсивність їх прояву. Як експериментальна розглядається територія, що знаходиться в межах зсувних ділянок (із заходу на схід): Батиліманської, Ласпінської, Теселі-Снітовської, Бекетово-Оползневе, Ліменської, Симеїз-Мисхорської, і має площу 94 км², у межах якої зареєстровано близько 260 зсувів неглибокого залягання техногенного та ерозійного походження. З метою класифікації території за ступенем інтенсивності активізації, або поширення зсувів, використовувались середньорічні величини зміщення, отримані Ялтинською інженерно-геологічною та гідрогеологічною партією в результаті моніторингових робіт з 2001 по 2010 рр. Виходячи з умов, що інтенсивність зсувної діяльності будь-якої ділянки території визнача-

ється сукупністю проявів активності кожного із зсувів у її межах, вважається, що найбільший показник інтенсивності має така ділянка території, для якої зсувна активність реєструвалася кожного року впродовж визначеного періоду (10 років). У результаті розрахованої таким чином інтенсивності було виділено ареали поширення зсувів за відсотком інтенсивності зсувної активності.

Показник активності, що характеризує розвиток зсувів у часі, був розрахований для кожного зсуву окремо як відношення кількості років, протягом яких спостерігалось вертикальне або горизонтальне зміщення зсуву, до загальної тривалості досліджуваного періоду (10 років). З метою отримання значення активності в кожній точці території, застосовувалась апроксимація поверхні розподілу зсувів. Оскільки зсув та величина його зміщення являють собою дискретний показник, з метою виконання апроксимації було обрано метод зворотних зважених відстаней (англ. Inverse Distance Weighting). Принцип його дії полягає у дотриманні умови, за якої точки, які найбільш близькі до місцеположення точки апроксимації, більшою мірою впливають на прогнозоване значення, ніж віддалені від нього. В результаті, отримана поверхня розподілу показника активності є

близькою до реальної, адже ймовірність активізації близько розташованих зсувів за умов локального впливу певного фактора має велику ймовірність. Створення карти апроксимованої поверхні за показником активності та карти-схеми інтенсивності відбувалося в середовищі програми ArcGis 10.0. З метою визначення коефіцієнта ризику прояву зсувів у межах досліджуваної території, кожну поверхню було класифіковано та поділено на ранги. Так, поверхню активності прояву було поділено на 4 категорії, що характеризують такі ступені змін геологічного середовища під впливом певних факторів: слабкий (0-0,1) – не очікується змін геологічного середовища; середній (0,1-0,5) – зміни геологічного середовища відображаються в його якісних показниках, однак не впливають на господарські об'єкти; сильний (0,5-0,7) – зміни геологічного середовища сильно впливають на господарські об'єкти; дуже сильний (0,7-1,0) – відбуваються значні незворотні зміни геологічного середовища, що призводять до руйнування господарських об'єктів. Поверхня інтенсивності прояву зсувів, що відображає ураженість території (%) активними формами, була класифікована на основі загального розподілу показників на 5 категорій (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахунок коефіцієнта ризику (K_p), прояву зсувів

Характеристика розвитку зсувів	Коефіцієнт ризику проявів зсувів					
	Інтенсивність прояву, %	0-10	10-30	30-50	50-60	>60
Активність прояву						
0-0,1	1	2	3	4	5	
0,1-0,5	6	7	8	9	10	
0,5-0,7	11	12	13	14	15	
0,7-1	16	17	18	19	20	

Виділені класи показників активності та інтенсивності зсувних процесів дозволили визначити коефіцієнти ризику (K_p), а також визначити ступені ризику проявів зсувів у межах досліджуваної території. Отже, на нашу думку, доцільно групувати коефіцієнти ризику за такими критеріями відповідності ступенів ризику:

1. Слабкий ступінь ризику: $K_p=1-3$;
2. Середній ступінь ризику: $K_p=4-8$;
3. Сильний ступінь ризику: $K_p=9-13$;
4. Дуже сильний ступінь ризику: $K_p=14-18$;
5. Надзвичайно сильний ступінь ризику: $K_p=19-20$.

У результаті поєднання поверхонь активності прояву та інтенсивності зсувів за допомогою інструментів просторового аналізу (Spatial Analyst) програми ArcGis 10.0, була створена карта-схема ризику Південно-Західного зсувного підрайону, що була класифікована відповідно до вище визначених ступенів ризику.

Незважаючи на те, що величина ризику є інтегрованим показником, що відображає як часовий фактор активізації зсувного процесу, так і просторовий, у подальшому він не може бути використаний у інженерно-геологічних дослідженнях, оскільки не враховує геолого-літологічного та геолого-морфологічного факторів зсувоутворення. Тому на подальшому етапі дослідження, з метою врахування геологічного фактора та досягнення більш реалістичного розподілу показника ризику зсувних процесів, використовувався історико-геологічний підхід до оцінки стійкості схилів, запропонований у 50-і роки минулого століття проф. Г.С. Золотарьовим. Районування території південних схилів за даною методикою застосовувалось лише на локальному рівні – в межах деяких зсувних амфітеатрів, у той час, коли з точки зору інженерно-геологічної практики, він є дуже дієвим та відносно простим. Принцип виділення ділянок за ступенем стійкості полягає у встановленні залежності між структурно-генетичним типом вміщуючих відкла-

дів та стійкістю геологічного середовища до впливу комплексу факторів. Так, Г.С. Золотарьов виділяв такі ділянки: стійкі – складені давніми зміщеними масивами верхньоярських вапняків та давніми вододілами, при освоєнні яких виконується інженерно-геологічна підготовка схилів невеликих обсягів; умовно стійкі – всі делювіальні схили, на яких відмічаються процеси змиву та наявність давніх та старих зсувів, сучасний стан яких є наближеним до граничної рівноваги; нестійкі ділянки з діючими зсувами та із зсувами, активність яких є призупиненою, з діючими конусами виносу, зростаючими ярами, осипами та обвалами [2].

Як основу для виділення різних за ступенем стійкості ділянок, було використано карту інженерно-геологічного районування південного узбережжя Криму масштабу 1:25000, що була складена Г.Д. Неклюдовим та Н.П. Строчак у 1976 р. Райони поширення різновікових елювіально-делювіальних, делювіальних, колювіальних, пролювіальних відкладів, що залягають на аргіліто-пісковиковому таврійському фліші, були об'єднані в одну групу, що характеризує умовно стійкі схили. Території, що характеризуються поширенням відкладів акумулятивних форм та виходами корінних порід (вододіли, круті схили та днища ярів), були віднесені до стійких. Ділянки поширення зсувних відкладів та підніжжя вапнякового обриву Яйли, складені колювіальними відкладами, були охарактеризовані як нестійкі (рис. 1).

Висновки. Метод оцінки ризику активізації та утворення зсувів для будь-якої ділянки, що використовує лінійні коефіцієнти площинної ураженості, є досить умовним. Головною причиною цього є різноманітність факторів, що викликають зміни геологічного середовища. Запропонована методика класифікації території Південно-Західного зсувного підрайону Криму базується не тільки на ймовірнісній, але й на визначеній геологічними умовами складовій, тому дозволяє деталізувати та виокре-

мити ділянки, що характеризуються однаковою інтенсивністю та активністю процесу, а також поєднуються відповідно до поширення основних генетичних типів вміщуваних порід. Отримана в результаті досліджень карто-схема ризику у поєднанні з картою-схемою техно-

генних навантажень на геологічне середовище у подальшому може бути використана як основа для районування території за ступенем стійкості геологічного середовища до різних типів техногенних впливів.

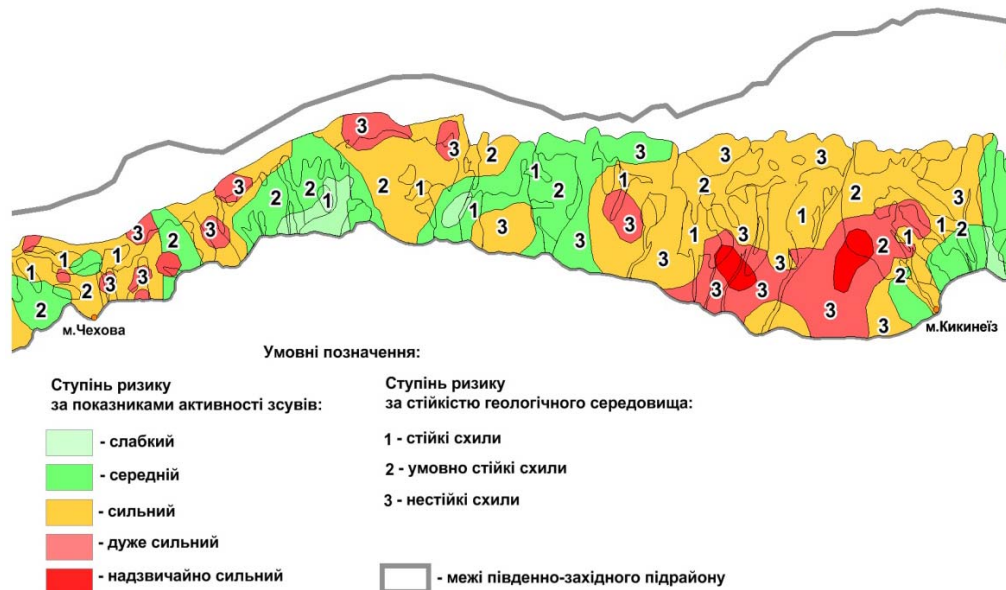


Рис. 1. Фрагмент карти-схеми районування території Південно-Західного зсувного підрайону за ступенем ризику

Список використаних джерел

- Биченок М.М. та ін., (2008). Ризики життєдіяльності у природно-техногенному середовищі. К.: Інститут проблем національної безпеки ради національної безпеки і оборони України, 160 с.
- Вученок М.М. et al., (2008). Ryzuky zhyttdiyalnosti u pryrodno-tekhnogennomu seredovyschi. *Instytut problem natsionalnoyi bezpeky rady natsionalnoyi bezpeky i obrony Ukrainy*, Kyiv, 160 p. (In Ukrainian).
- Золотарев Г.С., (1983). Инженерная геодинамика. М.: Изд-во МГУ, 328 с.
- Zolotarev G.S., (1983). *Ingenernaya geodinamika*. Moscow, Izd-vo MGU, 328 p. (In Russian).
- Котлов Ф.В., Епишин В.К., Снобкова А.И., Киселева З.Т., (1972). Научно-технический отчет по теме № 30 "Инженерно-геологический анализ и оценка эффективности противооползневых мероприятий в типичных районах Южного берега Крыма". М., 400 с.
- Kotlov F.V., Epishyn V.K., Snobkova A.I., Kiseleva Z.T., (1972). *Nauchno-tehnicheskyy otchet po teme № 30 "Ingenerno-geologicheskyy analiz i otsenka effektivnosti protivopolznevyykh meropriyatiy v tipichnykh rayonakh Yuzhnogo berega Kryma"*. Moscow, 400 p. (In Russian).
- Рудько Г.И., Ерыш И.Ф., (2006). Оползни и другие геодинамические процессы горно-складчатых областей Украины (Крым, Карпаты). К.: Задруга, 624 с.

Rudko G.I., Erysh I.F., (2006). *Opolzni i drugie geodinamicheskie protsessy gorno skladchastykh oblastey Ukrainy (Krym, Karpaty)*. Kyiv, Zadruga, 624 p. (In Russian).

5. Рязанкін П., Лоєнко О., Федоров А., Маслов Н. та ін., (2006). Звіт про геолого-екологічні дослідження та інженерно-геологічні заходи "Моніторинг екзогенних геологічних процесів на території Автономної Республіки Крим та земель м. Севастополя": в 2-х кн. *Сімферополь*, 1, 107 с.

Ryazankin P., Loenko O., Fedorov A., Maslov N. et al., (2006). *Zvit pro geologo-ekologichni doslidzhennya ta inzhenerno-geologichni zakhody "Monitoryng ekzogennykh geologichnykh protsesiv na terytoriyi Avtonomnoyi Respubliki Krym ta zemel m. Sevastopol"*: 2 Vol. *Simferopol*, 1, 107 p. (In Ukrainian).

6. Цуриков К.О., (1988). Отчет Северо-Крымской гидрогеологической партии за 1985-1988 гг. "Геолого-экологическая оценка воздействия хозяйственной деятельности на окружающую среду на территории Крымской области": в 5-ти кн. *Симферополь*, 4, 301 с.

Tsurikov K.O., (1988). *Otchet Severno-Krymskoy gidrogeologicheskoy partii za 1985-1988 gg "Geologo-ekologicheskaya otsenka vozdeystviya khozyaystvennoy deyatelnosti na okruzhayushchuyu sredu na territorii Krymskoy oblasti"*: 5 Vol. *Simferopol*, 4, 301 p. (In Russian).

Надійшла до редколегії 24.12.14

K. Boyko, Postgraduate Student
Institute of Geology, Taras Shevchenko National University of Kyiv
90 Vasylykivska Str., Kyiv, 03022 Ukraine
E-mail: boyko_ekateruna@ukr.net

NEW LANDSLIDES ON SOUTH-WESTERN CRIMEAN SEACOAST: RISK ASSESSMENT AND LANDSLIDE CONTROL TECHNIQUES

Geologic and engineering development of the South Coast of the Crimea, which remains an active geodynamic and tectonic structure, has always been uneasy task due to numerous exogenous geological processes (EGP), with landslides being most dangerous and abundant in the region.

Over half a century steps have been taken to stabilize slopes and to reveal major landsliding factors. There have also been suggested a number of geotechnical surveys, enabling to forecast and detect early landsliding. Although buttresses have been consolidated and great landsliding systems stabilized, there, still, tend to appear new shallow erosive and anthropogenic landslides in the shallow illuvial-deluvial sediments that cover the Middle Jurassic and Tauric flysch formations.

Abundant small shallow landslides are not easy to be detected visually. Based on probability theory, there have been developed spatial modelling methods for landslide-prone areas, such as geodynamic or landslide potential methods, though they still require refining by processing detailed information from large-scale surveys. On the other hand, calculating coefficients of linear and areal affection for the areas prone to landsliding does not reveal either dynamics or directions of the process. Thus, there arises a need to devise an upgraded method of spatial evaluating regional landslides, based on informative and reliable values, to assess risks of new landslides activation and formation.

The study uses an approach that allows for estimating risks of new landslides extension, with both an activity (the dynamics) of landslides within the region, and the intensity of their extension (spatial affection) in consideration. For the first time based on the Zolotarev historic and geological method, there is given the quantitative assessment for different genetic types of the adjacent strata, to confirm the risk of distribution rate within the South-Western Crimean Seacoast.

Based on the research findings, there is build a map of shallow landslide risk distribution. The implemented model illustrates both the direction of landslide extension, and geological environment alterations. When compiling a map of landslide risk distribution combined with a map of anthropogenic impact distribution, there can be laid a foundation for territory zoning based on both geological environment sustainability to technogenic impacts and shallow landslides occurrence.

Keywords: risk, shallow landslide, activity, spatial damage, slope stability.

Е. Бойко, асп.

Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ "Институт геологии",
ул. Васильковская, 90, г. Киев, 03022, Украина,
E-mail: boyko_ekateruna@ukr.net

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ НОВЕЙШИХ ОПОЛЗНЕЙ ЮГО-ЗАПАДНОГО БЕРЕГА КРЫМА

Инженерно-геологическое освоение территории южного берега Крыма, который является активной геолого-тектонической структурой, всегда усложнялось широким распространением экзогенных геологических процессов (ЭГП). Особенно опасным явлением для региона являются оползни. Практика укрепления склонов и устранения основных факторов оползнеобразования на исследуемой территории продолжается почти столетия. За указанный период разработан комплекс методик с целью осуществления инженерно-геологических мероприятий, а также внедрены основы прогнозирования активизации оползней и их обнаружения на местности. Однако, несмотря на укрепление контрфорсов и стабилизацию грандиозных оползневых систем, на сегодняшний день наблюдается тенденция активизации и возникновения современных оползней неглубокого заложения техногенного и эрозионного происхождения. Последние формируются в покровных элювиально-делювиальных отложениях, которые залегают на флишевых формациях таврической серии и среднеюрского возраста. Повсеместное распространение небольших и неглубоких оползней создает проблему их выявления во время мониторинговых работ. Методы пространственного моделирования оползнеопасных территорий ("геодинамического" или "оползневого" потенциала), которые базируются на теории вероятности, разработаны на примере отдельных оползневых районов, поэтому нуждаются в использовании детализированной информации на основе крупномасштабных съемок. С другой стороны, оценка предрасположенности территории к развитию оползней с использованием расчётных показателей – коэффициента линейного и площадного поражения – не отображает динамики и направления развития процесса. Таким образом, необходимость оценки риска активизации и образования современных оползней нуждается в создании более приемлемого с точки зрения указанных критериев – информативности и надёжности, метода регионального пространственного анализа развития процесса. Предложенная в исследовании методика учитывает как активность (динамику развития) оползней в пределах региона, так и интенсивность их проявлений (площадное поражение). Впервые с целью обоснования распределения коэффициента риска в пределах юго-западного побережья Крыма была присвоена количественная характеристика критерию генетического типа вмещающих пород с использованием историко-геологического метода Г.С. Золотарёва. В результате исследования была составлена карта районирования исследуемой территории по степени риска проявления оползней неглубокого залегания. Построенная модель отображает как направление оползнеобразования, так и состояние геологической среды. Карта оценки риска распространения оползней в комплексе с картой техногенной нагрузки являются информативной основой районирования территории по степени устойчивости геологической среды к разным типам техногенных воздействий, а также к развитию оползней неглубокого заложения.

Ключевые слова: риск, оползень в покровных породах, активность, поражение, устойчивость склона.

ГЕОЛОГІЧНА ІНФОРМАТИКА

UDC 550.344

D. Malyskyy, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.

E-mail: dmytro@cb-igph.lviv.ua,

O. Muyla, Cand. Sci. (Phys.-Math.), Research Associate

E-mail: orestaro@gmail.com,

O. Hrytsaj, Postgraduate Student

E-mail: grycaj.oksana@gmail.com,

O. Kutniv, Engineer

E-mail: okutniv@yahoo.com,

O. Obidina, Postgraduate Student

E-mail: jane.det@yandex.ua,

Carpathian Branch of

Subbotin Institute of Geophysics NAS of Ukraine

3-b Naukova Str., Lviv, Ukraine 79060

MOMENT TENSOR INVERSION OF WAVE FORMS

(Рекомендовано членом редакційної колегії д-ром фіз.-мат. наук, проф. Б.П. Масловим)

The authors present a moment tensor inversion of waveforms, which is more robust and yields more stable and more accurate results than standard approaches. The inversion is solved in two steps. First, a point source of seismic waves is considered, with defined location and origin time. Matrix method is used to solve the problem of wave propagation in the medium modeled as a horizontally layered heterogeneous elastic structure (isotropic and/or anisotropic). In order to allow the source mechanism to change with time each moment tensor component has its own time history. The source is described by the full moment tensor M_{lm} . A numerical technique developed based on forward modeling is used for the inversion of the observed waveforms for the components of moment tensor and the earthquake source-time function (STF(t)). The method provides a good estimate for the complete mechanism when records are treated, which corresponds to a velocity model contained inside the interpolation range. The method of waveform inversion using only direct P- and S-waves at stations that we have developed allows us to retrieve the moment tensor of a point source as a function of time. We computed the moment tensor solutions also using the graphic method. The traditional graphical method is based on the P-waves prior arrival using information about fuzzy first motion and the S/P amplitude ratio. The polarities between P-waves first motion were defined from complete records on seismograms taking into account the possible inversion of the sign on the z-component. A logarithm of the S/P amplitude ratio is calculated using seismic data received at each station from the three components. Input data for the azimuth and take-off angle are calculated by software packages for each event. Finally, the proposed moment tensor inversion is tested on real data for the earthquakes of 24.04.2011 (13°02'12", 35.92°N, 14.95°E (near Malta), M_w 4.0) and 29.12.2013 (17°09'00.04", 41.37°N, 14.45°E (Southern Italy), M_w 4.9).

Keywords: matrix method, moment time function, earthquake mechanism, tensor of seismic moment.

Introduction. The basis for quantifying the earthquake sources is seismic moment tensor. The moment tensor is calculated by several approaches: using amplitudes of seismic waves [2, 11], S/P amplitude ratios [3, 8], full waveforms [1, 4, 6, 9, 10]. The inversion of full waveforms is a widely used approach applicable on all scales: from small

to large earthquakes. It is usually applied employing the point-source approximation and assuming a time independent focal mechanism. The inversion is performed in the time domain or in the frequency domain. The inversion yields seismic moment tensor and, as a result, source time function, STF(t). The waveform inversion is a data-