

УДК 624.131

Є. Г. КОНІКОВ, д-р геол.-мін. н., професор,

Л. В. СТРОЄВОНЦ, аспірант,

А. М. ЧИКАЛЕНКО, аспірант

Одеський державний університет

*Проблемна науково-дослідна лабораторія інженерної
геології узбережжя моря, водосховищ та гірських схилів
вул. Дворянська, 2, Одеса, 65026, Україна*

ПРИКЛАД ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ УЗАГАЛЬНЕНИХ ЗМІННИХ ДЛЯ ОЦІНКИ СТІЙКОСТІ ЕРОЗІЙНО-ЗСУВНИХ СХИЛІВ

Запропоновано новий метод інженерно-геологічної типізації, який ґрунтується на використанні двофакторних матриць спряженості ознак і апробований на прикладі ерозійно-зсувних схилів Одеської та Миколаївської областей. Розроблено застосування методу узагальнених змінних для оцінки стійкості зсувів, які виникають на схилах ярів, балок і річкових долин.

Ключові слова: типізація, стійкість, ерозійно-зсувні схили.

Вступ

У широкому арсеналі методів інженерної геології важлива роль належить трьом традиційним напрямам досліджень: палеогеодинамічному аналізу (історико-геологічному), типізації та схематизації інженерно-геологічних умов (далі — ІГУ) та методу аналогій (порівняльному, природних аналогій). Основи цих напрямів закладені в роботах Г. А. Голодковської, В. Т. Трофимова, Г. С. Золотарьова, Є. П. Ємельянової, Л. Б. Розовського; їх удосконалення є в тому числі першочерговим завданням інженерної геології та інженерної геодинаміки. Порівняльно-геологічні методи умовно можна віднести до “природного моделювання” динаміки геологічного середовища. Вони широко використовуються на різних стадіях досліджень і є обов’язковим елементом та є достатньо ефективними при дослідженні складної геологічної будови території й історії її розвитку.

Перелічені методи доцільно використовувати як упорядкований комплекс, який називається геодинамічним аналізом. Геодинамічний аналіз можна визначити як дослідницький процес, у ході якого використовується поширений комп-

лекс методів та прийомів (засобів) з метою пізнання еволюції, динаміки та прогнозування небезпечних геологічних процесів і явищ. Важливим методологічним принципом геодинамічного аналізу є системна повнота досліджень.

Головна мета наших досліджень полягає у вивченні особливостей динаміки зсувних процесів на ерозійних схилах для побудови прогностичних моделей за методом узагальнених змінних.

Характеристика об'єкта

Об'єктом наших досліджень стали зсуви, розповсюджені на ерозійних схилах. Основними факторами зсувного процесу є діяльність (часто пов'язаних між собою) атмосферних опадів і поверхневих вод (площинна та бокова ерозія), підземних вод (їх розвантаження та зволоження ґрунтів схилів), інженерно-господарча діяльність людини. Геоморфологічно вони прив'язані до схилів річкових долин, крупних балок і ярів.

Зсуви на ерозійних схилах — дуже поширений природний процес. Наприклад, тільки в межах Одеської області за даними ДПГ “Причорноморгеологія” на 1995 р. їх зареєстровано більш ніж 4000, що складає близько третини загальної кількості зсувів цього типу, розповсюджених в Україні. Перважна їх кількість припадає на північні та північно-західні райони області.

Як показали дослідження ДГП “Причорноморгеологія” та ОДУ ім. І. І. Мечникова, зсувними зрушеннями охоплюються: супіщано-глинисті породи балтської світи; алевро-піщані породи балтської світи; еолово-делювіальні і делювіальні суглинки плейстоцену; піщано-глинисті породи верхнього сармату; глинисті техногенні ґрунти. Форма у плані — різноманітна: циркоподібна, еліпсоподібна, глетчерна, складної конфігурації. При цьому за обсягом порід, що зміщуються, автори статті виділяють такі види: дуже малі (менше 500 м³), малі (500 — 2500 м³), середні (2500 — 10000 м³), крупні (10000 — 50000 м³), дуже великі (50000 — 150000 м³), зверх великі (більші ніж 150000 м³). За мірою активності (у нашій інтерпретації) зсуви можна розподілити на: активні (зміщення відбуваються до теперішнього часу); стабільні деякий час; стабільні і давні, які тривалий час (десятки років) не зсуваються.

На відміну від зсувів на морських берегах, ерозійно-зсувні процеси вивчені дуже слабо, а існуючим методам розрахунків стійкості схилів і укосів (у силу їх схематичності) бракує зв'язку з природними умовами, що не дозволяє виконувати достовірні прогнози.

Методика досліджень

Останнім часом у практиці типизації ІГУ та побудови карт інженерно-геологічного районування все частіше використовуються системи дворядного (або багаторядного) районування, тобто метод біфуркації ознак [1, 6]. Задля формалізації цього методу типизації вважаємо за доцільне використовувати матричний засіб аналізу, наприклад, будування двофакторних матриць сполучення ознак [4].

Двофакторні матриці сполучення дозволяють оцінити не тільки залежність або незалежність обраних факторів, але й одержати новий вид ознаки (нову так-

сономічну одиницю) у осередках матриці, яка з визначеною ймовірністю (очікуваною частотою) володіє якостями двох факторів, що зіставляються. Даний метод було апробовано при інженерно-геологічній типизації берегів водосховищ, лиманів і моря.

Метод узагальнених змінних (далі — МУЗ) було розроблено за основними положень теорії геологічної подібності [5], спочатку для прогнозування переробки берегів водосховищ [2], а потім для оцінки стійкості морських абразійно-зсувних схилів північно-західного узбережжя Чорного моря [3]. У зв'язку з обмеженістю обсягу статі автори не можуть викласти основні методичні положення МУЗ і змушені тут та далі посилатися на першоджерела й аналіз можливості його використання для прогнозування стійкості ерозійно-зсувних схилів.

МУЗ дозволяє за допомогою визначених процедур вивести певну кількість безрозмірних критеріїв подібності, що всебічно характеризують зсувний процес. Автори публікації [3] переконливо обґрунтували, що стійкість абразійно-зсувних схилів можна виявити за допомогою емпірико-статистичної залежності у критеріальному вигляді:

$$\pi_1 = \pi_3 f(\pi_2), \quad (1)$$

де $\pi_1 = 2Q/H \cdot B$; $\pi_2 = H/B$; Q — обсяг зсувних накопичень ($\text{м}^3/\text{пог. м берега}$), який вираховується від горизонтальної площі порівняння; H і B — відповідно висота і закладення схилу (м); $\pi_3 = m_c \rho / C$; m_c — глибина захвату порід схилу; ρ — об'ємна щільність порід ($\text{т}/\text{м}^3$); C — зчеплення (Мпа^{-1}).

Безпосередньо для прогнозу використовувалася графічна модель цієї залежності при встановлених параметрах критерія π_3 .

На першому етапі для оцінки ерозійно-зсувних схилів ми використовували спрощену модель виду:

$$\pi_1 = f(\pi_2) \quad (2)$$

Аналіз результатів досліджень

Для виконання зазначеної задачі, нами було обрано 95 об'єктів, які уособлюють майже все різноманіття даного типу зсувів. Кожний з них було схарактеризовано за літологічним складом порід, що складають схили, за формою у плані та морфометричними показниками (H , B , Q) та ступенем їх активності. Потім зсувні схили було типізовано у відповідності до ознак, визначених у розділі "Характеристика об'єкта".

На другому етапі виконувався аналіз співвідношення обраних ознак за методом двофакторних матриць сполучення факторів для всіх можливих варіантів. Приклад двофакторної матриці наведено у вигляді таблиці (табл.1).

Таким чином було визначено наявність залежності (або незалежності) між усіма факторами (кожного із кожним). На підставі узагальнення даних матричного аналізу була складена класифікаційна схема ерозійно-зсувних схилів (табл. 2). На відміну від більшості відомих класифікацій зсувів, ця класифікація має формальну (ймовірно-статистичну) основу, що дає певні переваги при подальших дослідженнях та комп'ютерній побудові карт інженерно-геологічного районування.

Аналіз залежності (2), виконаний для усієї вибірки даних, показав нелінійний

Таблиця 1

Двофакторна матриця сполучення ознак

Літологічний склад порід	Ступінь активності ерозійно-зсувних схилів			
	Активні	Стабільні	Давні	Σ за рядками
Піщано-глинисті породи балтської світи	17,3\25	20,7\12	1,9\3	40
Алеврити та піски балтської світи	—	13,5\25	1,2\1	26
Еолово-делювіальні плейстоценові	3,9\4	4,6\5	—	9
Піщано-глинисті верхньосарматські	2,6\6	—	—	6
Техногенні ґрунти	0,8\1	1,0\4	—	2
Σ за рядками	36	43	4	83

Примітки: в осередках матриці величина очікуваної ймовірності — чисельник, частота — знаменник.

Таблиця 2

Інженерно-геологічна типизація ерозійно-зсувних схилів

Літологічний склад порід	Ступінь активності			Форма зсуву у плані				Потужність зсувних порід					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Піщано-глинисті породи балтської світи	17,3	20,7	1,9	10,1	10,1	16,8	2,9	5,3	13,0	11,1	7,2	2,9	0,5
Алеврити та піски балтської світи	—	13,5	1,2	6,5	6,5	—	10,9	—	3,4	8,4	7,2	4,7	—
Еолово-делювіальні суглинки плейстоцена	3,9	4,6	—	2,3	2,3	3,7	—	1,2	2,9	—	—	—	—
Піщано-глинисті породи верхнього сармату	2,6	—	—	1,5	1,5	2,5	—	—	1,9	1,6	1,1	—	—
Техногенні ґрунти	0,8	1,1	—	—	0,5	—	0,1	0,3	—	—	—	—	—

Примітки: 1 — активні, 2 — стабілізовані, 3 — давні, 4 — циркоподібні, 5 — еліпсоїдні, 6 — складної конфігурації, 7 — глетчероподібні, 8 — дуже малі, 9 — малі, 10 — середні, 11 — крупні, 12 — дуже великі, 13 — зверху крупні. В осередках матриці — очікувана ймовірність.

характер залежності величини $2Q/HB$ (форма профілю схилу) від $H/B = \tan \beta$ (середня крутість схилу), що зумовлено логарифмічним законом розподілу цих величин. Виходячи з цього, виконувався кореляційно-регресійний аналіз логарифмованих величин $2Q/HB$ та H/B . Встановлено, що для усієї сукупності залежність виявляється статистично значущою з коефіцієнтом кореляції $r = -0,71$.

Для встановлення впливу різних факторів на дану статистичну модель було

виконане відповідне ранжування вихідної вибірки за трьома ознаками (на підставі розробленої типізації): 1) літологічний склад зсувних порід; 2) форма зсувів у плані; 3) характеристика активності.

Встановлено, що характер залежності зберігається, хоча змінюються коефіцієнти рівнянь та ступінь зв'язку між величинами (значення r коливається від -0,64 до -0,94), за винятком, коли схили представлені техногенними породами (рис. 1). Цей феномен потребує окремого дослідження.

Отриманні математичні моделі (у вигляді регресійних рівнянь) можна використовувати для розрахунку величин обсягу зсувних накопичень (Q) тільки за відомою величиною середньої крутості схилу, яку досить легко виміряти.

З точки зору прогнозування стійкості ерозійно-зсувних схилів найбільший інтерес представляє аналіз залежності (2) по відношенню до ступеня їх активності. Вихідна вибірка була розподілена на дві: 1) активні зсуви; 2) зсуви, що стабілізувалися, та давні. Загальний вигляд графіків, як і у попередніх випадках (рис. 1), характеризує обернено пропорційну залежність (рис. 2); при цьому лінія регресії для активних зсувів розташована субпаралельно під лінією регресії стабільних і давніх зсувних схилів. А це не протирічить загально відомій закономірності.

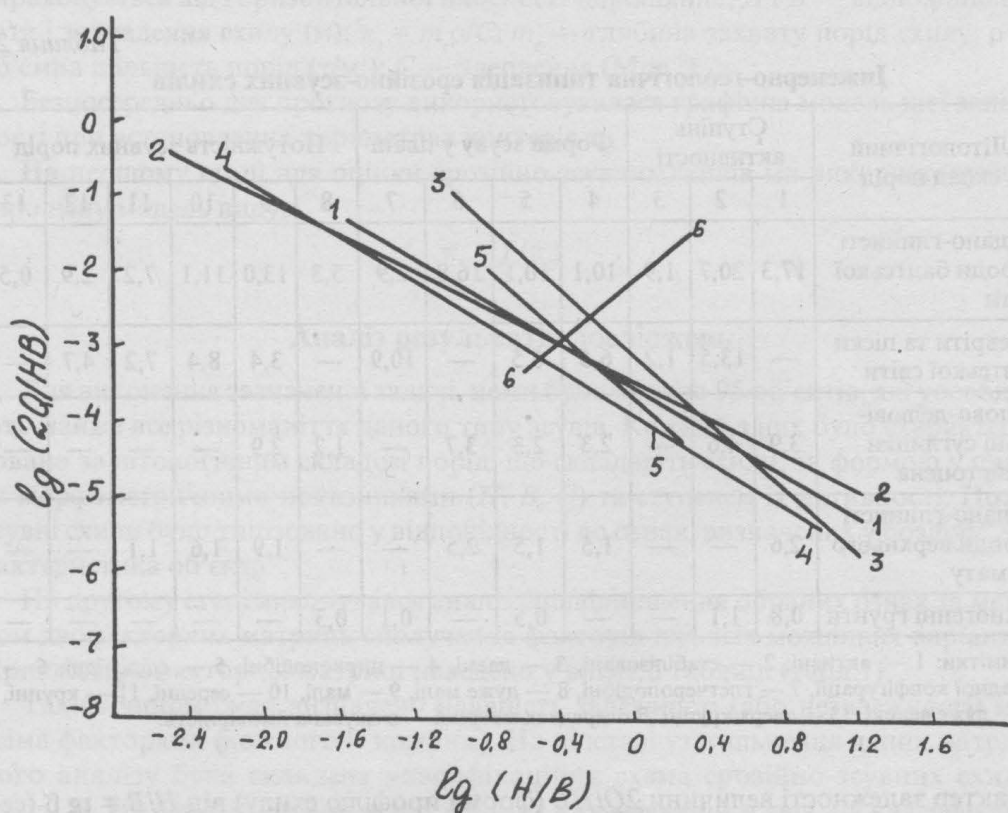


Рис. 1. Графіки регресійних рівнянь залежності виду $lg(2Q/HB) = f(lg(H/B))$

1 — піщано-глинисті породи балтської світи ($r = 0,81$); 2 — алевро-піщані відклади балтської світи ($r = 0,82$); 3 — делювіальні суглинки та супіски пізнього плейстоцену ($r = 0,78$); 4 — еолово-делювіальні нижньоплейстоценові суглинки ($r = 0,67$); 5 — глинисті породи верхньосарматського віку ($r = 0,94$); 6 — техногенні ґрунти ($r = 0,86$).

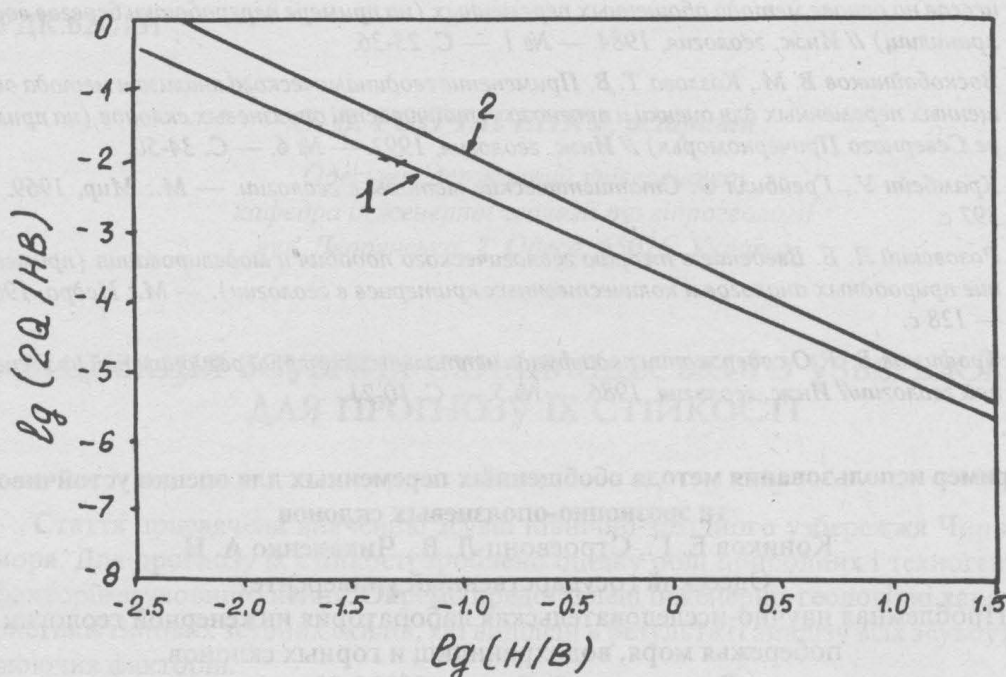


Рис. 2. Графіки лінійної регресії виду $\lg(2Q/HB) = f(\lg(H/B))$ для активних зсувів (1) та стабільних і давніх зсувних схилів (2)

мірності, що в результаті зсуювання гірських порід по схилу його середня крутість зменшується, що забезпечує підвищення стійкості схилу. Поновлення зсувів можливе внаслідок бокової ерозії підніжжя схилу, розмиву зсувних накопичень атмосферними опадами, або за рахунок замочування порід верхньої частини схилу підземними водами (зсуви другого порядку).

Висновки

На основі виконаних досліджень можна зробити наступні головні висновки.

1. На підставі використання методу матричного аналізу (двофакторних матриць сполучення) встановлено залежність між факторами, що характеризують зсувні процеси на ерозійних схилах, а також побудовано загальну їх типізацію, яка може бути використана при інженерно-геологічному районуванні, у тому числі, за допомогою ПЕОМ.

2. Доказано принципову можливість використання МУЗ з метою прогнозування стійкості ерозійно-зсувних схилів. Визначено безрозмірні критерії подібності та побудовано математичні моделі (у вигляді регресійних рівнянь між критеріями подібності) оцінки стійкості схилів. Виявлено залежність цих моделей від деяких геологічних та морфометричних характеристик зсувних схилів.

Література

1. Бондарик Г. К. *Общая теория инженерной (физической) геологии*. — М.: Недра, 1981. — 256 с.
2. Воскобойников В. М., Лиходедова О. Г. *Изучение и прогнозирование геологических про-*

- цессов на основе метода обобщенных переменных (на примере переработки берегов водохранилищ) // Инж. геология, 1984. — № 1. — С. 23-36.
3. Воскобойников В. М., Козлова Т. В. Применение геодинамического анализа и метода обобщенных переменных для оценки и прогноза устойчивости оползневых склонов (на примере Северного Причерноморья) // Инж. геология, 1992. — № 6. — С. 34-50.
 4. Крамбейн У., Грейбилл Ф. Статистические методы в геологии. — М.: Мир, 1969. — 397 с.
 5. Розовский Л. Б. Введение в теорию геологического подобия и моделирования (применение природных аналогов и количественных критериев в геологии). — М.: Недра, 1969. — 128 с.
 6. Трофимов В. Т. О содержании ряда фундаментальных понятий региональной инженерной геологии // Инж. геология, 1986. — № 5. — С. 10-21.

Пример использования метода обобщенных переменных для оценки устойчивости эрозионно-оползневых склонов

Коников Е. Г., Строевонц Л. В., Чикаленко А. Н.

Одесский государственный университет

Проблемная научно-исследовательская лаборатория инженерной геологии
побережья моря, водохранилищ и горных склонов
ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

Резюме

Предложен новый метод инженерно-геологической типизации, основанный на использовании двухфакторных матриц сопряженности признаков и апробированный на примере эрозионно-оползневых склонов Одесской и Николаевской областей. Разработано приложение метода обобщенных переменных для оценки устойчивости оползней, образующихся на склонах оврагов, балок и речных долин.

Ключевые слова: типизация, устойчивость, эрозионно-оползневые склоны.

The supplement of the method of generalized variables for valuation of erosion sliding slopes stability

E. G. Konikov, L. V. Stroeovonts., A. N. Chikalenko.

Odessa State University

Problem scientific-research laboratory of engineering geologi coast sea, reservoir
and mountainous slope

Dvorianskaya St., 2, Odessa, 65026, Ukraine

Summary

A new method of engineering-geological type classification is offered on the basis of the two factor matrixes of the connected signs (on the example of erosion sliding slopes of Odessa and Nikolaev oblasts). The supplement of the method of generalized variables was elaborated for avaluation of landslide stability on the ravine, hollow and river valley slopes.

Key words: typization, stability, erosion sliding slopes.