

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 624.131

DOI: 10.18524/2303–9914.2021.2(39).247157

Т. В. Козлова, канд. геол.-мін. наук, завідувачка кафедри

Є. А. Черкез, доктор геол.-мін. наук, професор

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

кафедра інженерної геології і гідрогеології,

Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна,

ktv_onu@yahoo.com, <https://orcid.org/0000–0002–7090–7359>

eacherkez@gmail.com, <https://orcid.org/0000–0001–8075–3800>

ВИЯВЛЕННЯ ХВИЛЬОВИХ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ПРОЦЕСІВ ЗСУВНИХ СХИЛІВ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО ПРИЧОРНОМОР'Я ЗА ДАНИМИ ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

На основі інструментальних вимірювань деформацій конструктивних елементів підземних дренажних споруд протизсувного комплексу Одеського узбережжя, накопичених за 50-річний період експлуатації та геодезичного моніторингу зсувного схилу (2000–2019 рр.) (територія Одеського припортового заводу), розташованого на правобережжі Малого Аджалицького лиману, встановлені характеристики просторово-часової мінливості сучасних деформаційних процесів. Емпірично виявлені характеристики сучасних деформацій автори інтерпретують як прояви хвильових процесів різної просторово-часової періодичності верхньої частини земної кори, що тригерно обумовлені ротаційною динамікою. Для коректної підготовки розрахункових схем важливим є як облік механізму формування зсуву, так і чинників, що знижують стійкість схилу. До останніх слід віднести квазіперіодичну мінливість напружено-деформованого стану масиву порід, керовану хвильовими деформаційними процесами різних ієрархічних рівнів.

Ключові слова: хвильові деформаційні процеси, зсувні схили, підземні дренажні споруди.

ВСТУП

Відомо, що стійкість зсувних схилів визначається співвідношенням міцності та напруженим станом масиву порід. При цьому, основними компонентами поля напруг є гравітаційне, тектонічне, гідродинамічне, а також деякі інші динамічні поля. В даний час при розгляді умов рівноваги схилів найчастіше враховуються тільки напруги, що викликаються силою тяжіння, гідродинамічні, а також сейсмічні впливи. Що ж до тектонічних напруг, то у застосуванні до зсувних схилів їх вплив майже не вивчений. Разом з тим, зсувна та деформаційна активність

схилів у широкому просторово-часовому діапазоні (з періодичністю від кількох місяців до кількох десятків років та рівнями тектонічної дискретності масивів від перших десятків метрів до перших кілометрів) також фіксується фактично (Воскобойников, Козлова, 1992, Cherkez, 1996, Kozlova, 1996, Будкин и др., 1998, Kozlova, Shmouratko, 1998, Шмуратко, 2001, Cherkez et al, 2006, Черкез и др., 2008, Черкез и др., 2013, Шмуратко и др., 2013, Козлова и др., 2013, 2019, Черкез и др., 2014, Cherkez et al, 2020, 2020 a, Kozlova et al, 2020, 2021 та ін.).

Причини та механізм виникнення багаторівневої тектонічної активності різноманітні та досі залишаються не до кінця з'ясованими. Найбільш обґрунтованою, на наш погляд, моделлю тектонічної активізації, що призводить зрештою до виникнення розривних структур є гіпотеза про хвильовий механізм утворення структур земної кори (Парийский, 1960; Ступак, 1963; Одесский, 1972, Богацкий, 1977; 1980; Витязь, 1982; Николаевский, 1986, Николаевский, Шаров, 1986; Добролюбов, 1987; Рудаков, 1992 та ін.).

Зазначені роботи стосуються аналізу прогресивно-хвильових рухів земної кори досить великого періоду як у просторі (до сотень кілометрів), так і в часі (тисячі років). Питання ж, що пов'язані з фізичною природою високочастотної просторово-часової тектонічної активізації геопростору, які мають найбільший практичний інтерес в інженерно-геологічних завданнях, найменш розроблені як у теоретичному, так і в методичному відношенні. Так, у роботах (Kozlova & Shmouratko, 1998, Козлова, 1999, Kozlova, 2000, Козлова 2001, 2001a, Козлова 2002, 2003, Козлова и др., 2013, Козлова, Черкез, 2018) на основі аналізу емпіричних даних показано, що одним з можливих механізмів, що пояснює високочастотну (з періодичністю від декількох місяців до декількох десятків років і з тектонічним кроком від перших десятків метрів до перших кілометрів) квазіциклічну просторово-часову мінливість напружено-деформованого стану (НДС) масиву порід може бути хвильовий, обумовлений ротаційним режимом Землі.

Як інструмент для виявлення та вивчення хвильового процесу квазіциклічної просторово-часової мінливості НДС масиву порід, крім найбільш рухливих компонентів геологічного середовища – підземних вод (Kozlova & Shmouratko, 1998, Козлова, 2001 та ін.) та природних газів земної кори (Козлова, 1999, Kozlova, 2000 та ін), які найчутливіше реагують на зміну напруженого стану верхнього рівня літосфери, можуть служити й багаторічні геодезичні спостереження за режимом деформацій зсувних схилів та лінійних споруд відносно великої протяжності (Черкез, 1994, Зелинский и др., 1997, Cherkez et al., 1997, Cherkez et al., 2020).

Мета роботи – виявлення хвильових деформаційних процесів верхньої частини земної кори за даними інструментальних вимірювань за режимом деформацій зсувних схилів та лінійних споруд відносно великої протяжності. У роботі ми також маємо намір обґрунтувати тезу про те, що хвильовий екзотектогенез є одним із факторів, що знижує стійкість зсувних схилів.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Для вивчення динаміки деформаційних хвильових процесів верхньої частини земної кори використовувалися дані багаторічних геодезичних спостережень та інструментальних вимірювань у водовідвідних штольнях № 1 та № 2 (рис. 1А) протизсувного комплексу Одеського узбережжя та результати геодезичного моніторингу зсувного схилу та прибровочної частини плато Малею Аджалицького лиману в межах території Одеського припортового заводу у період 2000–2019 рр., що виконувався інститутом ДП «Чорноморндріпроект» (рис. 1Б).

До складу споруд протизсувного комплексу входять підземні дренажні галереї та водовідвідні штольні, облицювання яких конструктивно складається з секцій тьюбінгів шириною 0,75 м, скріплені між собою у вигляді кілець діаметром 2,2 м. Ці гнучкі субгоризонтальні лінійні споруди відносно великої протяжності (0,3–0,5–10 км) чуйно відображують характер деформаційних процесів, які відбуваються усередині масиву.

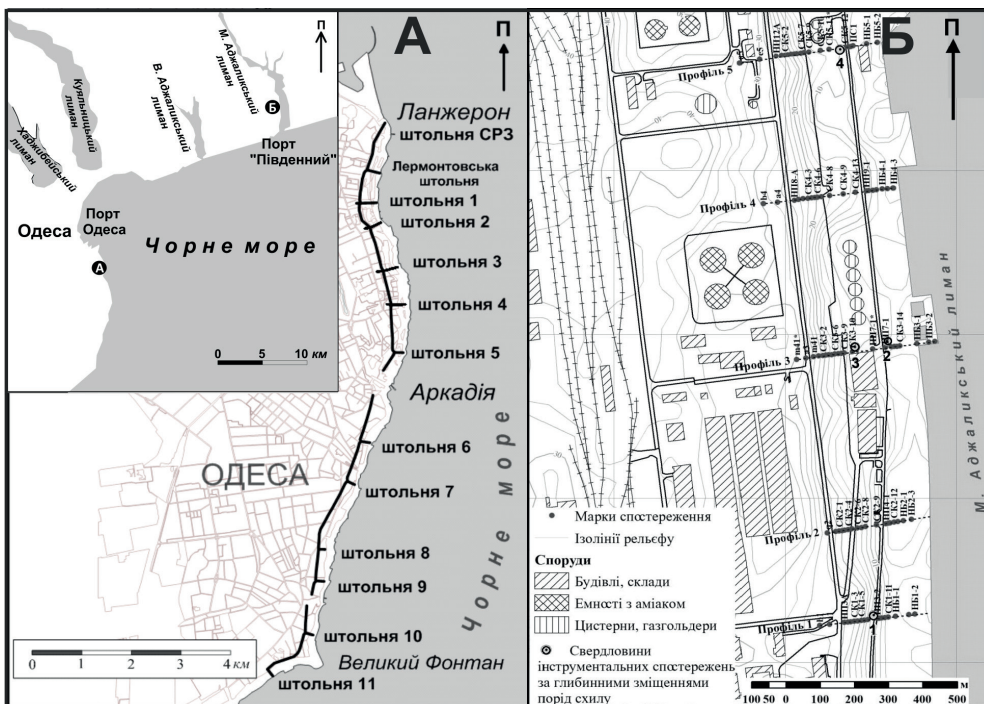


Рис. 1. Схема розташування ділянок дослідження
 А – дренажна галерея і водовідвідні штольні (галереї, водовідвідні штольні – показано жирною лінією) протизсувного комплексу Одеського узбережжя;
 Б – зсувний схил в межах території Одеського припортового заводу (Малий Аджалицький лиман)

Штольня № 1, загальною довжиною 440 м, пройдена в товщі зсувних накопичень (233 м) та в корінному масиві порід (207 м), де з'єднується з дренажною галереєю. Штольня № 2, загальною довжиною 340 м, пройдена в товщі зсувних накопичень (145 м) та корінному масиві порід (195 м).

Деформації штолень визначалися шляхом вимірювань вертикальних переміщень та горизонтальних зміщень реперів, закладених в елементи кріплення. Загалом у період 1964 по 1992 рр. було проведено 21 цикл геодезичних вимірів у штольні № 1 та 19 у штольні № 2. У кожному циклі вимірювань при обробці даних нівелювання визначалися відносні зміни абсолютних відміток кожного репера стосовно до найбільш віддаленого вглиб масиву. Це дозволило виявити деформації “тіла” штольні у вертикальній площині, що накопичилися до відповідного циклу спостережень. У 2018 році було виконано наступні виміри деформацій конструктивних елементів штольні № 1, накопичених за період 1964–2018 рр. та штольні № 2 за період 1964–2019 рр.:

- висотних позначок лотка штольні за допомогою геодезичного нівелювання з кроком 2–5 м автоматичним лазерним тахеометром «SOCIA» з точністю $\pm 1,0$ мм. Зміни відміток лотка штольні визначалося стосовно точки біля входу;
- діаметра штольні у вертикальному та горизонтальному напрямках лазерним далекоміром LeicaDisto A3 з точністю $\pm 2,0$ мм по 513 кільцям тубінгів з кроком уздовж штольні 0,75 м.

Методика обробки даних вимірювань деформацій і переміщень конструктивних елементів штольні включала перетворення вихідних рядів в еквідистантні з рівним кроком 0,75 м, який відповідає кроку вимірювань діаметрів кілець тубінгів. За допомогою ковзного осереднення з вікном 30 м визначалася трендова компонента та залишковий ряд розрахункових параметрів ухилу лотка штольні та відхилення вертикального та горизонтального діаметрів кілець тубінгів від стандартного (2200 мм). Для визначення високочастотної періодичної складової просторової мінливості залишкового ряду використовувався спектральний аналіз (Фур'є-перетворення).

Аналіз вертикальних та горизонтальних зміщень геодезичних марок у межах зсувного схилу на правобережжі Малого Аджалицького лиману (рис. 1Б) було виконано за 5 профілями. Довжина поперечних профілів становить 200–300 м. Середня відстань між марками 17 м. Аналіз виконувався на три інтервали часу: 2000–2010 рр.; 2010–2015 рр. 2015–2019 рр.

По кожному геодезичному профілю вивчалися: середня багаторічна (середньомісячна) швидкість вертикальних (vS_z) та горизонтальних (vS_x) зміщень марок, накопичена величина вертикальних (S_z) та горизонтальних (S_x) зміщень марок. Додатково вивчалася накопичена величина (S_x) відносних горизонтальних деформацій D_x ($D_x = dS_x/dL$) між суміжними марками в межах профілів (різниця у горизонтальних зміщеннях суміжних марок dS_x , віднесена до відстані між цими марками dL). Цей показник дозволяє опосередковано виявляти ділянки відносного розтягування та стиснення порід схилу.

Методика обробки даних геодезичного моніторингу полягала у застосуванні загального статистичного аналізу, побудові цифрових моделей вертикальних та горизонтальних зміщень геодезичних марок та їх похідних.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІХ ОБГОВОРЕННЯ

Інструментальні вимірювання у водовідвідних штольнях протизсувних споруд Одеського побережжя. Аналіз даних вертикальних переміщень і горизонтальних зміщень реперів що закладені у кріплення штольні 1 (рис. 2А) показує, що частина реперів відчуває переважно підйом, а частина – опускання. Відповідно, штольнію на всьому її протязі можна розділити на окремі ділянки (блоки масиву порід), які зазнають підйомів, нахилів та диференційованих рухів і в часі мають періодичний характер (рис. 2Г).

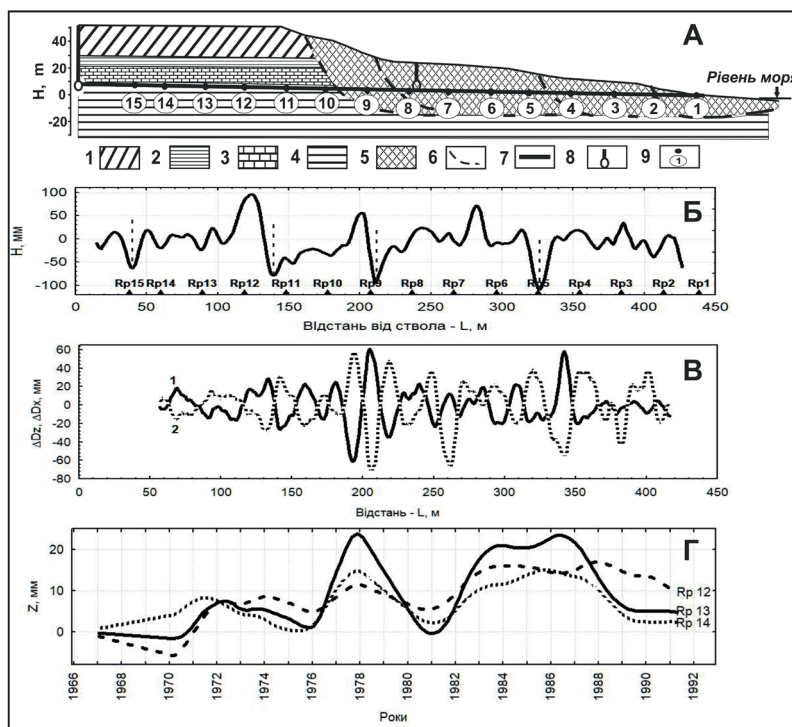


Рис. 2. А – Схематизований геологічний розріз уздовж штольні № 1:

1 – четвертинні лісоподібні сулинки; 2 – пліоценові червоно-бурі глини, 3 – понтичні вапняки, 4 – мезотичні глини; 5 – зсувні накопичення; 6 – поверхня зміщення зсувів; 7 – водовідвідна штольня; 8 – технологічний ствол; 9 – геодезичний репер та його номер.

Б – Залишковий ряд (після зняття трендової компоненти) розрахункових параметрів ухилу лотка штольні (пунктир – межі існуючих та потенційних зсувних блоків).

В – Залишковий ряд (після зняття трендової компоненти) відхилень горизонтального (1) та вертикального (2) діаметрів кільця тубінгів від стандартного (2200 мм).

Г – Міжрічна динаміка вертикальних зміщень реперів у штольні, розташованій у корінній частині масиву порід схилу.

В цілому, накопичені деформації являють собою хвилеподібні вигини з довшою хвилі від 60 до 120 м. Аналіз розподілу горизонтальних деформацій уздовж штольні показує, що відбувається збільшення відстаней між реперами й сама штольня зазнає подовження. Найбільш значне подовження штольні відбувається в межах зсувних накопичень (327 мм) за рахунок повільного «розтікання» зсувної тераси, а також на ділянці примикання зсувного тіла до корінного масиву. Ці стабільні у часі зони розтягувань виявлені на ділянках штольні, де вертикальні рухи реперів характеризуються негативним знаком. У корінному масиві порід подовження штольні становило 216 мм.

Середні за багаторічний період швидкості поздовжніх зміщень реперів у корінній частині масиву порід становлять 5–10 мм/рік, а у зсувних накопиченнях – 12–15 мм/рік. Наведені дані вказують на те, що горизонтальні зміщення реперів та подовження ділянок штольні, пройдених у корінних породах, обумовлені реологічними властивостями основного горизонту, що деформується, – меотичних глин.

Накопичені за період експлуатації штольні деформації (ДН) рельєфу її лотка (рис. 2Б) мають добре виражений періодичний характер і є зонами локальних пластичних деформацій, які сформувалися в наслідок диференційованих переміщень існуючих і потенційних зсувних блоків. Максимальні позитивні значення величин деформацій відповідають ділянкам прояву пластичного видавлювання глин основного горизонту, що деформується, а мінімальні негативні – ділянкам активного прояву зміщень існуючих зсувних блоків у межах схилу та формування потенційних поверхонь зсувного зміщення в межах корінного масиву порід. Спектральний аналіз просторового розподілу величин параметра ДН показує, що він відповідає просторовим періодам 80–120 м та 24–36 м.

Однією з особливостей геологічної будови зсувних схилів на різних ділянках узбережжя є наявність підйомів та понижень у рельєфі поверхні основного горизонту, що деформується, – меотичних глин (Зелинський, 1967, Науменко, 1967). Складчастий рельєф глин відрізняється відносно регулярним кроком (50–70–100 м) і зумовлений їх пластичними деформаціями, що виявляються як у період тривалої підготовки зсуву, так і в стадію основного зміщення (Черкез, 1994). На думку ряду авторів (Зелинський, Моисеев і др., 1993, Черкез, Шаталин, 2012) найпоширенішим механізмом пластичної деформації глинистих порід основного горизонту, що деформується у зсувів видавлювання Одеського узбережжя є хвильовий. Просторовий хвилеподібний характер накопичених за період експлуатації деформацій лотка (рис. 2Б) та поперечних перерізів (рис. 2В) штольні, також свідчить про прояву хвильової динаміки, що відображає просторово-періодичну зміну напруженого стану порід основного горизонту, що деформується.

У період будівництва штольні за технологічними умовами виконання робіт внутрішній діаметр кільця тьюбінгів становив 2200 мм. Ця величина прийнята як початкове значення, за відхиленням від якої визначалася деформація перерізу штольні у вертикальному та горизонтальному напрямках (рис. 2В) за період її

експлуатації (1966–2018 рр.). За фізичним змістом зменшення вертикального діаметра кільця тубінгів та відповідне збільшення горизонтального свідчить про прояви диференційованих вертикальних рухів суміжних блоків. І, навпаки – на ділянках відносного збільшення вертикального та зменшення горизонтального діаметрів відбуваються горизонтальні (вздовжберегові) переміщення суміжних блоків з різною швидкістю.

Спектральний аналіз величин параметрів DDx та DDz , які характеризують просторовий розподіл уздовж штольні вертикальних та горизонтальних деформацій кільця тубінгів виявляє періоди 24–30 м. Останні збігаються з періодами, що виявлені за просторовим рядом деформацій (ДН) рельєфу лотка штольні. Це може означати, що деформації конструктивних елементів та «тіла» штольні підпорядковуються єдиній причині – квазіперіодичній деформації масиву порід.

У цьому зв'язку важливо підкреслити, що аналогічний хвильовий характер деформацій виявлено у дренажній штольні 2 (рис 3) та у деформаціях та переміщеннях конструктивних елементів технологічного тунелю, розташованого в історичній частині м. Одеси на території Одеської міської інфекційної лікарні (Козлова та ін. 2019).

На рис. 3 показана динаміка вертикальних (А) зміщень реперів та горизонтальних (Б) відносних деформацій між суміжними реперами у водовідвідній штольні 2 (корінна частина масиву порід) за період з 1966 по 1992 рр.

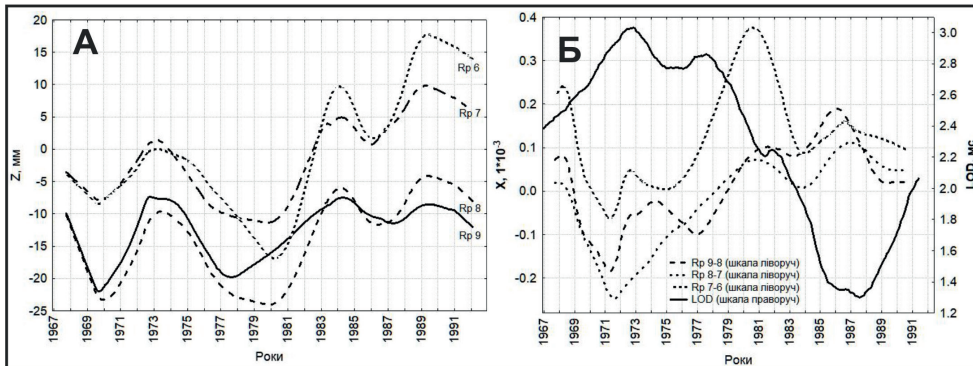


Рис. 3. А – динаміка вертикальних (Z , мм) і (Б) – горизонтальних відносних деформацій (X , $1 \cdot 10^{-3}$) ділянок штольні 2 між суміжними реперами (корінна частина масиву порід) за період із 1966 по 1992 рр. На рис. Б також наведено графік параметра LOD (LOD – швидкість осьового обертання Землі виражена в відхиленні тривалості доби в мс від стандартної – 86400 с)

Важливо підкреслити, що міжрічні зміни горизонтальних відносних деформацій між суміжними реперами відбуваються синхронно з ротаційною динамікою (рис. 3Б). Крім того, і у внутрішньорічній динаміці зміщень реперів на інших ділянках міста (територія Приморського бульвару та Ново-Аркадійського жит-

лового масиву) виявляється взаємозв'язок з варіаціями швидкості обертання Землі (Козлова и др., 2013, Козлова и др., 2016). Як відомо, при зміні швидкості обертання у верхній оболонці Землі виникає осесиметричне поле напруги, яке має три зони стиснення-розтягування, обмежені широтами ± 35 град. Результати розрахунків (Довбнич, 2007, Довбнич, Солдатенко, 2008), показали що короткоперіодні зміни варіації швидкості обертання Землі (тривалості доби на величину 3 мс) призводять до змін напруги на $\approx 2 \cdot 10^2$ Па. Виконані розрахунки дозволяють припустити, що ротаційна динаміка тим чи іншим чином здатна генерувати та підтримувати в активному стані високочастотні тектонічні деформаційні процеси.

Інструментальні вимірювання зсувного схилу розташованого на правобережжі Малого Аджалицького лиману. Зсувний схил на правобережжі Малого Аджалицького лиману (рис. 1Б) сформований глибокими зсувами видавлювання з поверхнею зміщення, розташованої істотно нижче сучасного базису денудації. Діапазон зміни швидкості вертикальних зміщень геодезичних марок в межах 5 профілів на ділянці М. Аджалицького лиману за період 2000–2019 років становить від $-22,0$ мм до $+22,0$ мм. Більшість марок опускається із середньою багаторічною швидкістю близько 3 мм/рік. Діапазон величин показника D_x у межах геодезичних профілів коливається від мінус $4,5 \cdot 10^{-4}$ (стиснення) до плюс $15 \cdot 10^{-4}$ (розтягування). У межах зсувного схилу по всіх профілях виявлено 3–4 відносно стабільних зони розтягування, розташовані в прибровочній частині плато, верхній та середній частинах схилу, просторове положення яких зберігається протягом усього періоду спостережень (Черкез и др. 2014). Відстань між зонами розтягування в межах геодезичних профілів складає $30 \div 120$ м. З цими зонами просторово збігаються ділянки схилу з максимальними величинами вертикальних зміщень марок негативного знака. За даними геодезичного моніторингу побудовано серію карт накопичених величин вертикальних зміщень марок (S_z) та відносних горизонтальних деформацій (D_x) за три часові інтервали 2000–2010, 2010–2015, 2015–2019 рр.

На рис. 4 показані карти просторової мінливості накопичених величин відносних горизонтальних деформацій (D_x , $1 \cdot 10^{-4}$) у межах зсувного схилу за вибрані інтервали спостережень.

Аналіз просторового розподілу геодезичних параметрів (S_x і D_x) показує, що зони максимальних розтягувань порід збігаються із зонами максимальних осідань марок і не залишаються постійними, а хвилеподібно мігрують уздовж схилу. Характерна відстань між зонами з однаковими значеннями досліджуваних параметрів становить 30...60, 100...150, 200...250 м.

Виявлені зони стиснення і розтягування, що чергуються в просторі, зумовлюють динаміку вертикальних і горизонтальних зміщень реперів у міжрічному режимі зміщення марок на правобережжі М. Аджалицького лиману і в штольнях Одеського узбережжя можна інтерпретувати як відображення хвильової геодинаміки з періодичною зміною у просторі та часі НДС порід.

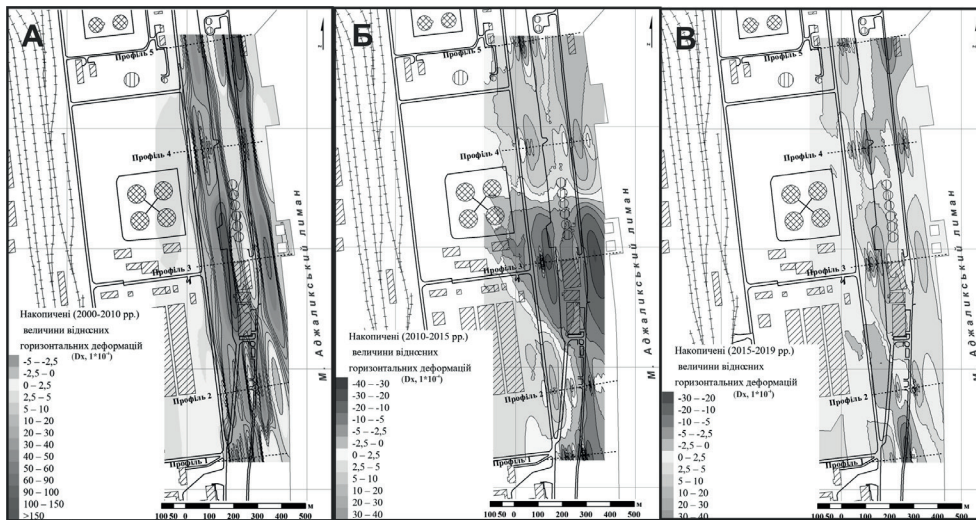


Рис. 4. Просторова мінливість накопичених величин відносних горизонтальних деформацій ($D_x, 1 \cdot 10^{-4}$) в межах зсувного схилу (Малий Аджалицький лиман) за різні інтервали часу: А – 2000–2010 рр., Б – 2010–2015 рр.; В – 2015–2019 рр.

Аналіз даних багаторічних інструментальних спостережень за спорудами (дренажні галереї та водовідвідні штольні протизсувного комплексу Одеського узбережжя, припортовий завод на березі М. Аджалицького лиману) свідчить, що їх деформації відбуваються протягом десятиліть без ознак стабілізації та мають циклічний характер. Важливо підкреслити, що розрахунки стійкості схилів, що виконувались раніше на стадії проектування, показали, що розвиток тривалих переміщень і деформацій виключено і, отже, не може вплинути на експлуатацію споруд.

Зараз у практиці проектування будівель і споруд, розташованих поблизу прибрежної частини плато і на зсувних схилах, а ретію приймається припущення про нерухомість порід нижче за відмітки пальових фундаментів заглиблених нижче розрахункових поверхонь зміщення за умови забезпечення нормативного запасу стійкості схилу. Таке припущення не передбачає визначення зусиль у конструкціях від «вимушених» деформацій та переміщень, зумовлених хвильовими деформаційними процесами, що призводять до диференційованих мікроблокових рухів. Останні можуть бути причиною деформацій у конструкціях споруд навіть на стадії будівництва. Це особливо важливо, коли йдеться про «щільну» забудову будинками високої поверховості прибрежної частини плато, яка чуйно реагує на поєднання та взаємодію широкого спектра природних і техногенних факторів.

Будівельне освоєння зсувної зони Одеського узбережжя обумовлює необхідність урахування інженерно-геодинамічних умов на ділянках здійснення комплексу протизсувних та берегозахисних заходів. Очевидно, що оптимальні будівельні рішення, по-перше, повинні сприяти збереженню та збільшенню інженерно--

геологічної ефективності наявного комплексу протизсувних та берегозахисних споруд та, по-друге, ці рішення мають бути органічно «вписані» в сучасну інженерну геодинаміку зсувного схилу. Для будь-яких видів будівельного освоєння зсувних схилів необхідно враховувати складний просторовий характер систем порушень у масиві порід та особливості динаміки геодформаційних процесів.

ВИСНОВКИ

Емпірично виявлені характеристики просторово-часової міграції сучасних деформацій в межах зсувного схилу М. Аджалицького лиману та водовідвідних штолень протизсувного комплексу Одеського узбережжя автори інтерпретують як прояву системи деформаційних хвиль – процесів стиснення розтягування гірських порід, що мають складний просторово-часовий спектральний склад.

Ієрархічна розшарованість тектоносфери по глибині (наявність шарів з різними властивостями міцності та деформації), тектонічна дискретність і блоковість масивів порід обумовлюють просторовий каркас динамічно складної структури поля деформацій. Багаторазові цикли стиснення-розтягування порід, зумовлені високочастотними хвильовими процесами, призводять до зниження міцності порід, накопичення пластичних деформацій та активізації зсувних зміщень, у тому числі на ділянках узбережжя після виконання протизсувних заходів.

Для обґрунтування розрахункових схем та прогнозу тривалої стійкості схилів важливим є як врахування механізму зсувного процесу, так і факторів, що знижують стійкість схилу. До останніх слід віднести квазіперіодичну мінливість НДС масиву порід, керовану ротаційною динамікою у вигляді деформаційних процесів хвильової природи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Богацький В. В. Волновой механизм формирования рудоколизующих структур магнетитовых месторождений Сибирской платформы. 1977. *Геология руд. месторождений*. № 3. С. 3–18.
- Богацький В. В. Морфоструктуры и волновой механизм образования рудоколизующих систем центрального типа и мульдообразных прогибов. *Геология руд. месторождений*. 1980. № 1 С. 49–63.
- Будкин Б. В., Черкез Е. А., Козлова Т. В., Шмуратко В. И. Микроблоковое строение геосреды и деформационные процессы в береговой зоне (на примере Припортового участка г. Одессы). *Вісник Укр. буд. екон. та наук.-техн. знань*. 1998. № 2. С 25–27.
- Витязь В. И. Периодичность размещения геологических структур платформенных областей Сибири. 1982. М.: Недра. 176 с.
- Воскобойников В. М., Козлова Т. В. Применение геодинамического анализа и метода обобщенных переменных для оценки и прогноза устойчивости оползневых склонов (на примере Северного Причерноморья). *Инженерная геология*. 1992. № 6. С. 34–49.
- Добролюбов А. И. Волновая модель механизма образования областей сжатия и растяжения земной коры. *Докл. АН БССР*. 1987. Т. 31. № .10. С. 934–937.
- Довбнич М. М. Влияние вариаций ротационного режима Земли и лунно-солнечных приливов на напряженное состояние тектоносферы. *Доповіді НАН України*. 2007. № 11. С. 105–112.
- Довбнич М. М., Солдатенко В. П. О вибрационном воздействии лунно-солнечных приливов на геодинамические процессы. *Доповіді НАН України*. 2008, № 12. С. 96–100.
- Зелинский И. П. Опыт изучения эффективности противооползневых сооружений в Одессе и его значение для оценки инженерно-геологических условий береговых склонов. *Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР: Межвед. респб. науч. сб.* Киев: Изд-во КГУ, 1967. Вып. 1. С. 122–129.

Зелинский И. П., Козлова Т. В., Черкез Е. А., Шмуратко В. И. Инженерные сооружения как инструмент изучения тектонической дискретности и активности геологической среды. *Механика грунтов и фундаментостроение: труды 3 Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению*, 17–19 сент. 1997. Одесса, 1997. Т. 1. С. 53–56.

Зелинский И. П., Моисеев Л. М., Ханонкин А. А. О природе пластической деформации глинистых пород оползневых склонов Одесского побережья. *Геоэкология*, 1993. №2. С. 55–65.

Козлова Т. В. Волновой характер пространственно-временной изменчивости деформационных свойств геологической среды. *Сб. научн. трудов НГА Украины. Бурение скважин, гидрогеология и экология*. Днепропетровск, 1999. № 6. Том 4. С. 193–197.

Козлова Т. В. Стоячі високочастотні деформаційні хвилі земної кори. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одеса, 2001. Т. 6. Вип. 9. С. 127–131.

Козлова Т. В. Влияние высокочастотного волнового тектогенеза на развитие оползневых процессов. *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. Київ, 2001 а. № 5–6. С. 20–27.

Козлова Т. В. Зв'язок хвильового високочастотного тектогенезу з астрономічними факторами. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одесса, 2002. Т. 7. Вип. 4. С. 108–113.

Козлова Т. В. Про природу просторово-часової мінливості непривних варіацій сили ваги. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одесса, 2003. Т. 8. Вип. 5. С. 148–154.

Козлова Т. В., Черкез Е. А., Шмуратко В. И. Инженерно-геодинамические условия оползневых склонов на территории Приморского бульвара в Одессе. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одесса, 2013. Том 18. Вип. 1 (17). С. 58–70.

Козлова Т. В., Черкез Е. А. Особенности развития осадки фундамента офисно-жилого комплекса в г. Одессе. *Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць (будівництво) / Державне підприємство «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України*. Вип. 83: В 2-х кн.: Книга 2. 2016. Київ, ДП НДІБК, 2016. С. 182–190.

Козлова Т. В., Черкез Е. А. Базові постулати моделі високочастотного інтерференційно-хвильового тектогенезу. *Гідрогеологія: наука, освіта, практика: збірник наукових праць*. Х.: Стиль-Издат, 2018. С. 159–163.

Козлова Т. В., Черкез Е. А., Пронин К. К. Микроблоковое строение геологической среды как фактор геологических рисков урбанизированных территорий. *Вісник ОНУ. Сер.: Географічні та геологічні науки*. Одеса, 2019. Т. 24. Вип. 1. С. 145–164. URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1\(34\).169718](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1(34).169718)

Науменко П. Н. О механизме и качественных закономерностях развития оползней на Одесском побережье. *Геология побережья и дна Черного и Азовского морей в пределах УССР*. Киев: Изд-во Киев. ун-та, 1967. Вип. 1. С. 130–139.

Николаевский В. Н. 1986. Дилатансионная теория литосферы и волны тектонических напряжений. *Основные проблемы сейсмотектоники. Сб. докл. Симп. С. 08.1.4. Геофиз. секц. 27 МГК. М. 1984*. 1986. Москва. С. 51–68.

Николаевский В. Н., Шаров В. И. О разломах и механизме тектонической расслоенности земной коры. *Математические и экспериментальные методы в дизъюнктивной тектонике*. 1986. Москва. С. 38–46.

Одесский И. А. Волновые движения земной коры. 1972. Л., «Недра». 208с.

Парийский Н. Н. 1960. Земные приливы и внутреннее строение Земли. *Вестн. АН СССР*. № 6.– С. 61–69.

Рудаков В. П. Отображение геодинамических процессов сезонной (годовой) периодичности в динамике поля подпочвенного радона. *Докл АН СССР*, 1992. Т. 324. 3. С. 558–561

Ступак Н. С. О пульсации Земли. В кн.: *Проблемы планетарной геологии*. 1963. М.: Госгеолтехиздат. С. 285–290.

Черкез Е. А. Оползни северо-западного побережья Черного моря (моделирование, прогноз устойчивости склонов и оценка эффективности противооползневых мероприятий): автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук: 04.00.07 Одесса, 1994. 36 с.

Черкез Е. А., Козлова Т. В., Шмуратко В. И. Инженерно-геологические условия территории Приморского бульвара в Одессе в период строительства Потемкинской лестницы (по данным изысканий 1840-х годов). *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. Київ, 2008. № 2. С. 11–18.

Черкез Е. А., Козлова Т. В., Шмуратко В. И. Инженерная геодинамика оползневых склонов Одесского побережья после осуществления противооползневых мероприятий. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одеса, 2013. Том 18. Вип. 1 (17). С. 15–25.

Черкез Е. А., Шаталин С. Н. Закономерности формирования и развития оползневых процессов на территории Северного Причерноморья. *Инженерная геодинамика Украины и Молдовы (оползневые геосистемы): в двух томах* / Под ред.: Г. И. Рудько, В. А. Осюк. Киев-Черновцы: Букрек, 2012. Т. 2. С. 232–340.

Черкез Е. А., Шмуратко В. И., Козлова Т. В., Чуйко Е. Э. Инженерно-геодинамическая типизация оползневой территории участка правобережья М. Аджалыкского лимана. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одесса, 2014. Т. 19. Вип. 3 (22). С. 244–258.

Шмуратко В. И. Гравитационно-резонансный экзотектогенез. Одесса: Астропринт, 2001. 332 с.

Шмуратко В. И., Черкез Е. А., Козлова Т. В. и др. О причине продолжающихся деформаций здания Одесского театра оперы и балета. *Вісник ОНУ. Географ. і геол. науки*. Одесса, 2013. Том 18. Вип. 1 (17). С. 58–70.

Черкез Е. А. Geological and structural-tectonic factors of landslides formation and development of the North-Western Black Sea coast. In K. Senneset (ed.), *Landslides – Proc. 7th Int. Symp. on landslides, Trondheim, 17–21 June 1996*, 1996. Rotterdam: Balkema. P. 509–513.

Черкез, Е.А., Драгомыретска, О.В., Горюхович, Я. Landslide protection of the historical heritage in Odesa (Ukraine). *Landslides*. 2006. 3(4). P. 303–309.

Черкез Е. А., Козлова Т. В., Шмуратко В. И. Spatial discreteness of geological environment and of underground drainage constructions in Odesa, Ukraine. In Lee, Yang & Chang (eds.) *Environmental and Safety Concerns in Underground Construction*. Proc. 1st Asian Rock Mechanics Symp, Seoul, Korea, 13–15 October. Seoul, 1997. P. 233–238.

Черкез Е.А., Козлова Т.В., Мединетс В.И., Сольтис І.Е., Мединетс S.V. Engineering and Geodynamics Conditions of Economic Development and Construction on Landslide Slopes in Odesa Coast. In *Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities (Sep. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020. pp.1–5. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055009>

Черкез, Е.А., Козлова, Т.В., Мединетс, В.І., Митинський, В.М., Мединетс, S.V., Сольтис, І.Е. Study of Structural-Geological Conditions of Landslide Processes Forming and Development of an Example of Odesa Portside Plant Territory (Ukraine). In *Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities (Sep. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers. 2020 a, pp. 1–5. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055005/>

Kozlova, T.V. *Structural-tectonic and lithogenetic features of a rock massif as factors of landslide processes* In K. Senneset (ed.), *Landslides – Proc. 7th Int. Symp. on landslides, Trondheim, 17–21 June 1996*. 1996. Rotterdam: Balkema. P. 245–249.

Kozlova T.V. The wave nature of spatial-temporal changeability of deformation properties of soil and rock masses. *8-th International IAEG Congress, Vancouver, BC, 21–25 September 1998*. – Rotterdam: Balkema. 2000. P. 4381–4387.

Kozlova T., Черкез, Е., Шаталин, С., Мединетс, В., Сольтис, І., Мединетс, S. Rotational dynamics and deformation processes in the mass of rocks according to geodetic monitoring data (on the example of Odesa territory). In *XIV International Scientific Conference ‘Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment’ (Nov. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers, 2020, pp. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056061>

Kozlova T.V., Shmouratko V.I. High-frequency tectogenesis and forecasting of engineering-geological processes. *Proc. Of the Second International Conference on Environmental Management (ICEM2), (Wollongong, Australia, 10–13 February, 1998)*, (eds. M. Sivakumar & R.N. Chowdhury), 1998. Elsevier, vol. 2, pp. 883–890.

REFERENCES

Bogatsky, V.V. (1977). Volnovoy mekhanizm formirovaniya rudokolizuyushchikh struktur magnetitovykh mestorozhdeniy Sibirskoy platformy (The wave mechanism of formation of ore-locating structures of magnetite deposits in the Siberian platform). *Geology of ore deposits*, 3. P 3–18 [In Russian].

Bogatsky, V.V. (1980). Morfostruktury i volnovoy mekhanizm obrazovaniya rudolokalizuyushchikh sistem tsentralnogo tipa i muldoobraznykh progibov (Morphostructures and wave mechanism of formation of ore-locating systems of central type and mould deflections). *Geology of ore deposits*. No 1. P 49–63. [In Russian].

Budkin, B. V., Черкез, Е. А., Козлова, Т. В., Шмуратко, В. И. (1998). Mikroblokovoe stroenie geosredy i deformatsionnye protsessy v beregovoy zone (na primere Priportovogo uchastka g. Odessy). (Geological micro-block structure and deformations in coastal zone (example of Odessa Port area). *Bulletin of the Ukrainian House of Economic, Scientific and Technical Knowledge*. No 2. P. 25–27. [In Russian].

Черкез, Е.А. (1994). Opolzni severo-zapadnogo poberezhya Chernogo morya (modelirovanie, prognoz ustoychivosti sklonov i otsenka effektivnosti protivopolznevnykh meropriyatiy) (Landslides of the north-western coast of the Black Sea (modeling, forecasting the stability of slopes and evaluating the effectiveness of anti-landslide measures)). *Autoref. diss. doct. geol.-min. sciences.*: 04.00.07 Odessa. 36 p. [In Russian].

Черкез, Е. А. (1996). Geological and structural-tectonic factors of landslides formation and development of the North-Western Black Sea coast. (1996). In K. Senneset (ed.), *Landslides – Proc. 7th Int. Symp. on landslides, Trondheim, 17–21 June 1996*. Rotterdam: Balkema. P. 509–513.

- Cherkez, E.A., Dragomyretska, O.V., Gorokhovich, Y. (2006). Landslide protection of the historical heritage in Odesa (Ukraine). *Landslides*, 3(4). P. 303–309.
- Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Shmouratko, V.I. (1997). Spatial discreteness of geological environment and of underground drainage constructions in Odesa, Ukraine. In Lee, Yang & Chang (eds.) *Environmental and Safety Concerns in Underground Construction. Proc. 1st Asian Rock Mechanics Symp, Seoul, Korea, 13–15 October. Seoul, 1997*. P. 233–238.
- Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Shmouratko, V.I. (2008). Inzhenerno-geologicheskie usloviya territorii Primorskogo bulvara v Odesse v period stroitelstva Potemkinskoy lestnitsy (po dannym izyskaniy 1840-kh godov). (Geological engineering characteristics of the Primorsky boulevard area in Odesa during construction of the Potyomkin stairs (based on the research of the 1840's historical data). *Ecology Environment and Security of living*. Kiev. No.2. P. 10–23. [In Russian].
- Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Shmouratko, V.I. (2013). Inzhenernaya geodinamika opolznevnykh sklonov Odeskogo poberezhya posle osushchestvleniya protivopolznevnykh mero-priyatiy. (Engineering geodynamics of landslide slopes of the Odesa sea coast after anti-landslide measures). *Odesa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa. Vol. 18. Prod. 1. P. 15–25. [In Russian].
- Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Medinets, V.I., Soltys, I.E., Medinets, S.V. (2020). Engineering and Geodynamics Conditions of Economic Development and Construction on Landslide Slopes in Odesa Coast. In *Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities (Sep. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers. P. 1–5. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055009>
- Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Medinets, V.I., Mytynskyy, V.M., Medinets, S.V., Soltys, I.E. (2020 a). Study of Structural-Geological Conditions of Landslide Processes Forming and Development of an Example of Odesa Portside Plant Territory (Ukraine). In *Second EAGE Workshop on Assessment of Landslide Hazards and impact on communities (Sep. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers. P. 1–5. doi: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202055005>
- Cherkez, E.A., Shatalin, S. N. (2012). Zakonomernosti formirovaniya i razvitiya opolznevnykh protsessov na territorii Severnogo Prichernomor'ya (Regularities of landslides development within the Northern part Black sea Region). In: Engineering geodynamics of Ukraine and Moldova (landslide geosystems): in 2 vol. / And 62 edited by G. I. Rudko, V. A. Osiyuk. Kiev are Chernovtsy: Bukrek. Vol. 2. P. 232–340. [In Russian].
- Cherkez, E.A., Shmouratko, V.I., Kozlova, T.V., Tchujko, E.E. (2014). Inzhenerno-geodinamicheskaya tipizatsiya opolzneopasnoy territorii uchastka pravoberezhya M. Adzhalyk'skogo limana. (Engineering geodynamic typification of a territory prone to dangerous landslides on the right bank of the Maly Ajalyk liman). *Odesa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa, Vol. 19 (3). P. 244–258. [In Russian].
- Dobroliubov, A.I. (1987). Volnovaya model mekhanizma obrazovaniya oblastey szhatiya i rastyazheniya zemnoy kory. (The wave model of the mechanism of formation of the Earth's crust compression and stretching areas). *Reports of the Academy of Sciences of the BelSSR*. Vol.31. No.10. P. 934–937 [In Russian].
- Dovbnich, M.M. (2007). Vliyanie variatsiy rotatsionnogo rezhima Zemli i lunno-solnechnykh prilivov na napryazhennoe sostoyanie tektonosfery. (The effect of variations of rotational modes of the Earth and lunar-solartides on the state of stress Tectonosphere). *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kiev. (11). P. 105–112. [In Russian].
- Dovbnich, M.M. & Soldatenko, V.P. (2008). O vibratsionnom vozdeystvii lunno-solnechnykh prilivov na geodinamicheskie protsessy. (On the vibrational influence of lunar-solar tides on geodynamic processes). *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*. Kiev. (12). P. 96–100 [In Russian].
- Kozlova, T.V. (1996). Structural-tectonic and lithogenetic features of a rock massif as factors of landslide processes In K. Senneset (ed.), *Landslides – Proc. 7 th Int. Symp.on landslides, Trondheim, 17–21 June 1996*. Rotterdam: Balkema. P. 245–249.
- Kozlova, T.V. (1999). Volnovoy kharakter prostranstvenno-vremennoy izmenchivosti deformatsionnykh svoystv geologicheskoy sredy. (Wave character of spatial-temporal changeability of deformation properties of the geological environment). *Collection of scientific papers of the National Mining Academy of Ukraine. Well drilling, hydrogeology and ecology*. Dnepropetrovsk. No 6. Vol. 4. P. 193–197. [In Russian].
- Kozlova, T.V. (2000). The wave nature of spatial-temporal changeability of deformation properties of soil and rock masses. *8-th International IAEG Congress, Vancouver, BC, 21–25 September 1998*. Rotterdam: Balkema. P. 4381–4387.
- Kozlova, T.V. (2001). Stoiachi vysokochastotni deformatsiini khvyli zemnoi kory. (Standing high-frequency deformation waves of the Earth's crust). *Odesa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa. Vol. 6. Prod. 9. P. 108–113. [In Ukrainian].
- Kozlova, T.V. (2001a). Vliyanie vysokochastotnogo volnovogo tektogeneza na razvitie opolznevnykh protsessov. (The impact of high-frequency wave tectogenesis on the development of the landslides processes). *Ecology Environment and Security of living*. Kiev. No.5. P. 20–27. [In Russian].

- Kozlova, T.V. (2002). *Zv'yazok xvy'l'ovogo vy'sokochastotnogo tektogenezu z astronomichny'my' faktoramy* (Relationship between the high-frequency wave tectogenesis and he astronomic factors). *Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology*, Odessa. Vol. 7. Prod. 4. P. 108–113. [In Russian].
- Kozlova, T.V. (2003). Pro pryrodu prostorovo-chasovoi minlyvosti neprylyvnykh variatsii syly vahy. (On the nature of spatial-temporal changeability of nontidal gravity variations). *Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa. Vol. 8. Prod. 7. P. 148–154. [In Russian].
- Kozlova, T.V., Cherkez, E.A. (2016). Osobennosti' razvy'ty'ya osadky' fundamenta ofy'sno-zhy'logo kompleksa v g. Odessa (Features of the development of foundation settlement of the office and residential complex in the city of Odessa) *Building constructions: interdepartmental scientific and technical collection of scientific works*. DP NDIBK. Kyiv, vol. 83, No 2. P. 182–190. [In Russian].
- Kozlova, T., Cherkez, E., Shatalin, S., Medinets, V., Soltys, I., Medinets, S. (2020). Rotational dynamics and deformation processes in the mass of rocks according to geodetic monitoring data (on the example of Odesa territory). In *XIV International Scientific Conference 'Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment' (Nov. 2020)*. European Association of Geoscientists & Engineers. P. 1–5. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202056061>
- Kozlova, T.V., Cherkez, E.A., Shmouratko, V.I. (2013). Inzhenerno-geodinamicheskie usloviya opolznevo sklona territorii Primorskogo bulvara v Odessa. (Engineering-geodynamic conditions of the landslide slope of the Primorsky boulevard territory in Odessa). *Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa. Vol. 18. Prod. 1. P. 58–70. [In Russian].
- Kozlova, T.V., Cherkez, E.A. (2018). Bazovi postulaty modeli vysokochastotnoho interferentsiino-khvy'l'ovoho tektohenezu. (Basic postulates of the model of high-frequency interference-wave tectogenesis). *Hydrogeology: science, education, practice: a collection of scientific papers*. Kharkiv. P. 159–163. [In Ukrainian].
- Kozlova, T.V., Cherkez, E.A., Pronin, K. K. (2019). Mikroblokovoe stroenie geologicheskoy sredey kak faktor geologicheskikh riskov urbanizirovannykh territoriy (Micro-block structure of the geological environment as a factor of the geological risks for urban territories). *Odessa National University Herald. Series: Geography & Geology*. Odessa. Vol. 24. Prod. 1. P. 145–164. . URL: [https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1\(34\).169718](https://doi.org/10.18524/2303-9914.2019.1(34).169718) [In Russian].
- Kozlova, T.V., Shmouratko V.I. (1998). High-frequency tectogenesis and forecasting of engineering-geological processes. *Proc. Of the Second International Conference on Environmental Management (ICEM2), (Wollongong, Australia, 10–13 February, 1998)*, (eds. M. Sivakumar & R. N. Chowdhury). Elsevier. Vol. 2. P. 883–890.
- Naumenko, P.N. (1967). O mekhanizme i kachestvennykh zakonomernostyakh razvitiya opolzneyn na Odesskom poberezhze. (Landsliding of the Odessa coast, its mechanism and qualitative regularities). *Geology of coast and bottom of the Black and Azov Seas within Ukrainian SSR*, Issue 1, 130–139. [In Russian].
- Nikolaevskiy, V.N. (1986). Dilatatsionnaya teoriya litosfery i volny tektonicheskikh napryazheniy. (Dilatance theory of the lithosphere and waves of tectonic pressure). *Main problems of seismotectonics. Collection of Reports at the Symposium. 08.1.4. Geophysical Section. Section 27. Moscow. 1984/1986*. P. 51–68. [In Russian].
- Nikolaevskiy, V.N. & Sharov, V.I. (1986). O razlomakh i mekhanizme tektonicheskoy rassloennosti zemnoy kory. (On fractures and the mechanism of tectonic stratification of the Earth's crust). *Mathematical and Experimental Methods in Disjunctive Tectonics*. Moscow. P. 38–46. [In Russian].
- Odesskiy, I.A. (1972). Volnovye dvizheniya zemnoy kory. (Wave movements of the Earth's crust). Leningrad: Nedra. 208 p. [In Russian].
- Pariyskiy, N.N. (1960). Zemnye prilivy i vnutrennee stroenie Zemli. (Earth tides and internal structure of the Earth). *Newsletter of the Academy of Sciences of the USSR*. No.6. P. 61–69. [In Russian].
- Rudakov, V.P. (1992). Otobrazhenie geodeformatsionnykh protsessov sezonnoy (godovoy) periodichnosti v dinamike polya podpochvennogo radona. (Display of geodeformational processes of seasonal (annual) periodicity in the dynamics of the under-soil radone field). *Reports of the Academy of Sciences of the USSR*. Vol. 324. No.3. P. 558–561. [In Russian].
- Shmouratko, V.I. (2001). Gravitatsionno-rezonansnyy ekzotektogenez. (Gravitational resonance exotectogenesis). Odessa: Astroprint. 332 p. [In Russian].
- Shmouratko, V.I., Cherkez, E.A., Kozlova, T.V., Tyuremina, V.G., Karavan, A.I., Tyuremin, P.N., Mitinsky, V.M., Baranik, S.V. (2013). O prichine prodolzhayushchikhsya deformatsiy zdaniya Odesskogo teatra opery i baleta (On the reason of continued deformations of the building of Odessa opera and ballet theatre). *Odessa National University Herald, Geographical and geological sciences*. Vol 18. P. 38–57. [In Russian].
- Stupak, N.K. (1963). O pulsatsii Zemli. (On the Earth pulsation) / *Problems of Planetary Geology*. Moscow. P. 285–290. [In Russian].
- Vityaz, V.I. (1982). Periodichnost razmeshcheniya geologicheskikh struktur platformnykh oblastey Sibiri. (Periodicity of accommodation of geological structures in platform areas in Siberia). Moscow. [In Russian].
- Voskoboynikov, V.M., Kozlova, T. V. (1992). Primenenie geodinamicheskogo analiza i metoda obobshchennykh peremennykh dlya otsenki i prognoza ustoychivosti opolznevykh sklonov (na primere Severnogo Prichernomor'ya).

(Use of the geodynamic analysis and method of the generalized variables for estimating and predicting the stability of landslide slopes (by the example of the Northern Black Sea region)), *Engineering geology*, No. 6. P. 34–49. [In Russian].

Zelinsky, I.P. (1967). Opyt izucheniya effektivnosti protivopozlnevnykh sooruzheniy v Odesse i ego znachenie dlya otsenki inzhenerno-geologicheskikh usloviy beregovykh sklonov. (The result of studying of the efficiency of the antilandslided constructions in Odessa and their meaning for estimating of engineer-geological conditions of the seashore slopes). *Geology of coast and bottom of the Black and Azov Seas within Ukrainian SSR*, Issue 1, 122–129. [In Russian].

Zelinskiy, I.P., Kozlova, T.V., Cherkez, E.A., Shmouratko, V.I. (1997). Inzhenernye sooruzheniya kak instrument izucheniya tektonicheskoy diskretnosti i aktivnosti geologicheskoy sredy. (Engineering constructions as a research tool of tectonic step-type behaviour and activity of the geological environment). *Rock Mechanics and Basement Construction*. Odessa. Vol. 1, pp. 53–57. [In Russian].

Zelinsky, I.P., Moiseev, L.M., Khanonkin, A.A. (1993). O prirode plasticheskoy deformatsii glinistykh porod opozlnevnykh sklonov Odesskogo poberezhya. (On the nature of plastic clay soil deformation at the landslide slopes of Odessa coast). *Geoecology*, No 2. P. 55–66. [In Russian].

Надійшла 30.11.2021

Т. В. Козлова канд. геол.-мин. наук, зав. кафедрой
Є. А. Черкез доктор геол.-мин. наук, профессор
Одеський національний університет імені Й. Й. Мечникова,
кафедра інженерної геології і гідрогеології,
Шампанський пер., 2, Одеса, 65058, Україна,
ktv_onu@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7090-7359>
eacherkez@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8075-3800>

ВЫЯВЛЕНИЕ ВОЛНОВЫХ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ ОПОЛЗНЕВЫХ СКЛОНОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПРИЧЕРНОМОРЬЯ ПО ДАННЫМ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Резюме

На основе инструментальных измерений деформаций конструктивных элементов подземных дренажных сооружений противооползневого комплекса Одесского побережья, накопленных за 50-летний период эксплуатации и геодезического мониторинга оползневого склона (2000–2019 гг.) (территория Одесского припортового завода), расположенного на правом берегу Малого Аджалькского лимана, установлены характеристики пространственно-временной изменчивости современных деформационных процессов. Эмпирически выявленные характеристики современных деформаций авторы интерпретируют как проявление волновых процессов разной пространственно-временной периодичности верхней части земной коры, триггерно обусловленных ротационной динамикой. Для корректной подготовки расчетных схем важным является как учет механизма формирования оползня, так и факторов, снижающих устойчивость склона. К последним следует отнести квазипериодическую изменчивость напряженно-деформируемого состояния массива пород, управляемую волновыми деформационными процессами различных иерархических уровней.

Ключевые слова: волновые деформационные процессы, оползневые склоны, подземные дренажные сооружения.

T. V. Kozlova, E. A. Cherkez

Odesa I. I. Mechnikov National University,
Department of Engineering Geology and Hydrogeology,
Shampanskiy per, 2, Odesa, 65058, Ukraine
ktv_onu@yahoo.com, <https://orcid.org/0000-0002-7090-7359>
eacherkez@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8075-3800>

IDENTIFICATION OF WAVE DEFORMATION PROCESSES OF LANDSLIDES IN THE NORTHWESTERN BLACK SEA USING THE INSTRUMENTAL OBSERVATION DATA

Abstract

Problem Statement and Purpose. At present, considering the conditions of slopes equilibrium, only the stresses caused by gravity, hydrodynamic and seismic effects are most often taken into account. As for tectonic stresses, their effect on landslide slopes has hardly been studied. At the same time, landslides and deformations of slopes in a wide spatio-temporal range (with the frequency from several months to several dozens of years and the levels of massifs tectonic discreteness from first tens of meters to first kilometres) is also recorded in fact. Empirical data indicate that wave mechanism caused by rotational regime of the Earth can be one of the possible mechanisms explaining the high-frequency quasi-cyclic spatio-temporal variability of the rock mass stress-strain state. *Purpose of the work* has been to identify wave deformation processes in the Earth's upper crust according to the data of instrumental observation of landslide slopes and relatively long line facilities deformation regime. In this work, we also intend to substantiate the thesis that wave exotectogenesis is one of the factors reducing the overall stability of landslide slopes.

Data&Methods. The data of instrumental observations of structural components deformation in the underground drainage facilities of the landslide prevention works on Odesa coast that have accumulated during 50 years of operation, as well as the results of geodetic monitoring of landslide slope and the crest of plateau on the right bank of the Malyi Adzhalyk Liman within the territory of the Port Plant (ammonium plant) in 2000–2019 have been used to study the dynamics of deformation wave processes in the Earth's upper crust.

Statistical and cartographic analyses of the data sets mentioned above were carried out according to traditional methods using the Statistica, Matlab and Surfer software packages.

Results. It has been found that modern dynamics of landslide slopes is significantly influenced by the periodic change of the stress-strain state of rocks in space and time. The authors interpret the empirically revealed alternating in space zones of compression and extension, which cause the dynamics of vertical and horizontal reference benchmarks displacements in the inter-annual regime of marks displacement on the right bank of the Malyi Adzhalyk Liman and in the tunnels of Odesa coast as the reflection of wave geodynamics with periodic change of the stress-strain state of rocks in space and time. Hierarchical layering of the tectonosphere in depth (the presence of layers with different elastic properties), tectonic discreteness and blockiness of rock massifs determine the spatial framework of the dynamically complex structure of the deformation field. Multiple cycles of compression-extension of rocks lead to decrease in the rocks strength, accumulation of plastic deformations and activation of landslide displacements even on the coastal areas where anti-landslide measures have been implemented. To prepare design models correctly, it is important to take into account both the landslide formation mechanism and the factors that reduce the overall stability of the slope. The latter include the quasiperiodic variability of the rock mass stress-strain state controlled by rotational dynamics via wave mechanism.

Keywords: wave deformation processes, landslide slopes, underground drainage facilities.