

ІНЖЕНЕРНА ГЕОЛОГІЯ ТА ГІДРОГЕОЛОГІЯ

УДК 624.131.543

DOI: 10.18524/2303-9914.2019.2(35).183728

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

Д. В. Мелконян, канд. фіз.-мат. наук, доцент

В. І. Скальський, аспірант

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова,

кафедра інженерної геології і гідрогеології,

вул. Дворянська, 2, Одеса, 65082, Україна

eacherkez@gmail.com, dmelkon@gmail.com, 42sraf@gmail.com

ВПЛИВ ПРОСТОРОВОЇ МІНЛИВОСТІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ГРУНТІВ НА СТІЙКІСТЬ СХИЛУ

Проведено аналіз результатів лабораторних та польових досліджень ґрунтів зсувного схилу на узбережжі Чорного моря. Вивчено просторову мінливість фізико-механічних властивостей глинистих ґрунтів зсувного схилу. Виявлено зв'язок між фізичними та міцнісними характеристиками глинистих ґрунтів. Встановлено, що показники міцнісних властивостей глинистих ґрунтів значно залежать від ступеня їх зруйнованості і вологості. Оцінено вплив мінливості властивостей ґрунтів на стійкість схилу з врахуванням дії фільтраційних та сейсмічних сил. Розрахунки показують, що в більшості випадків зменшення коефіцієнтів стійкості схилу обумовлено зменшенням міцнісних властивостей ґрунтів внаслідок негативних змін гідрогеологічних умов.

Ключові слова: фізико-механічні властивості ґрунтів, зсувний схил, стійкість схилу, фільтраційні та сейсмічні сили.

ВСТУП

Зсувні процеси є вельми поширеними в межах Північного Причорномор'я. В зв'язку з посиленням антропогенного впливу на геологічне середовище півдня України відбувається активізація у береговій смузі моря зсувних і деформаційних процесів, що призводять до втрати дорогої прибережної території і ставлять під загрозу безпечну експлуатацію існуючих будівель, портових гідротехнічних, протизсувних і захисних споруд. Їхня інтенсивність зростає разом з господарчим освоєнням прибережних територій і схилів, поширенням на них будівництва. В останні десятиріччя найбільша інтенсивність зростання антропогенного впливу спостерігається на ділянках існуючої позаміської, селищної, рекреаційної і котеджної забудови як території плато, так і власно зсувних схилів. В більшості випадків наявність мережі водопостачання і відсутність

організованих систем водовідведення на таких ділянках узбережжя призводить до швидких і навіть екстремальних змін гідрогеологічних умов. Як наслідок, відбувається зростання рівня ґрунтових вод, посилення живлення і збільшення витрат нижче розташованих водоносних горизонтів, які розвантажуються в береговій зоні. В зв'язку з суттєвими негативними змінами гідрогеологічних умов відбувається активізація зсувів та їх просторове поширення в районах селищ Фонтанка, Крижанівка, Санжейка, м. Чорноморськ і на інших ділянках забудови узбережжя моря.

За літолого-геодинамічними ознаками в межах північно-західного узбережжя Чорного моря виділяється 4 типи зсувів, два з яких – зсуви-потоки і блокові зміщення лесових порід по глинах неогенового віку і ще два – блокові зсувні з поверхнею зміщення, яка розташована істотно нижче за сучасний рівень моря. Інтенсивність зсувних зміщень в лесових породах прогресивно зростає разом з підйомом рівня ґрунтових вод і техногенним обводненням прибрежної частини плато, яка найшвидше реагує на зміни природної обстановки [6]. Як правило, на ділянках, де спостерігаються негативні зміни гідрогеологічних умов, відзначається найбільша ширина зсувного схилу і відбувається "розтікання" ґрунтів зсувної "тераси" через надмірне зволоження, що призводить до постійного висунення в море зсувних накопичень і, як результат, – до активного розмиву морем берегового уступу, а також збільшення крутизни схилу в районі бровки обриву і появи нових тріщини зсувних заколів. Характерним прикладом активізації існуючих і формування нових зсувів з періодичністю 3–5 років в зв'язку з негативними змінами гідрогеологічних умов є м. Чорноморськ, де будівництво утримуючих споруд без усунення обводнення прибрежної частини плато і порід зсувного схилу не дало бажаних результатів.

Вивченню зсувних процесів присвячено велику кількість досліджень [4, 10, 11, 12, 14, 18, 19 та ін.], в яких встановлюються умови, фактори і регіональні закономірності їх формування і розвитку, аналізуються умови застосування методів оцінки стійкості зсувних схилів і заходи інженерного захисту. В значній більшості наукових публікацій при оцінці стійкості схилів увага приділяється вивченню впливу змін балансу мас порід схилів, навантажень від будівель, змін гідрогеологічних і сейсмічних умов при узагальнених і розрахункових показниках фізико-механічних властивостей порід, отриманих за результатами вишукувань. Разом з тим, частіше за все відомості про особливості просторового розподілу фізико-механічних властивостей порід основного деформованого горизонту як показників наявності локальних послаблених зон обмежені або відсутні. Наявна практика використання в розрахунках стійкості схилів узагальнених і розрахункових показників властивостей порід фактично нівелює їх просторові зміни і обмежує можливості об'єктивного обґрунтування і побудови розрахункових схем. З огляду на високий ступінь активності і поширення зсувів при антропогенних змінах гідрогеологічних умов вивчення впливу змін фізико-механічних властивостей порід та встановлення закономірностей

просторового розподілу ділянок послаблення міцнісних властивостей порід на стійкість схилів є актуальним.

В геоморфологічному відношенні досліджувана територія приурочена до зсувного берегового схилу Чорного моря (рис. 1), до Санжійського абразійно-зсувного району, для якого характерними є глибокі складні зсуви видавлювання з базисом зсування нижче рівня моря. На досліджуваній території активізація зсувного процесу з відокремленням блоків прибрежної частини плато довжиною 150–200 м спостерігалася в середині 80-х і наприкінці 90-х років

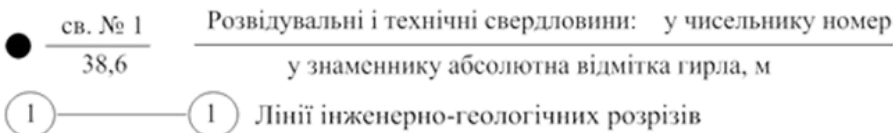


Рис. 1. Оглядова схема ділянки досліджень [9]

минулого століття. У травні 2012 р. на ділянці схилу протяжністю близько 400 м була виконана зсувна зйомка [9], в процесі якої відзначалися деформації на поверхні схилу і у прибровочній частині плато. В нинішній час на поверхні схилу і спорудах спостерігаються численні деформації – тріщини заколу, стінки зриву, осідання і випори поверхні, а також деформації і зміщення споруд, асфальтових покриттів та ін. Відбувається відступання бровки берегового уступу і лінії урізу, осипи і зсуви в прибровочній частині плато. Багато нових деформацій, що відбуваються, успадковують давні зони зсувних зміщень – западини, бровки плато, тераси, кліфи. Загальна площа масивів, відокремлених від плато внаслідок прояву абразійно-зсувних і обвальних процесів в 2014–2016 роках складала 19232 м², в 2013–2014 роках – 28176 м², в 2012 році – 507 м² і в 2010 році – 21405,5 м² [7, 8].

У зв'язку з вищевказаним вивчення просторової мінливості фізико-механічних властивостей ґрунтів і прогноз стійкості зсувних схилів є важливим завданням, необхідним для попередження розвитку зсувних процесів на досліджуваній території.

Метою дослідження є встановлення особливостей просторової мінливості фізико-механічних властивостей глинистих ґрунтів зсувного схилу та її вплив на стійкість схилу з врахуванням дії сейсмічних і фільтраційних сил.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Основою для дослідження послужили дані інженерно-геологічних вишукувань ТОВ СГБП "Одесміськбуд" [9], які включають в себе лабораторні та польові дослідження ґрунтів зсувного схилу (рис. 2). За геоморфологічними ознаками в межах досліджуваної території виділені плато і зсувний схил, в геологічній будові якого беруть участь сучасні делювіально-зсувні відклади.

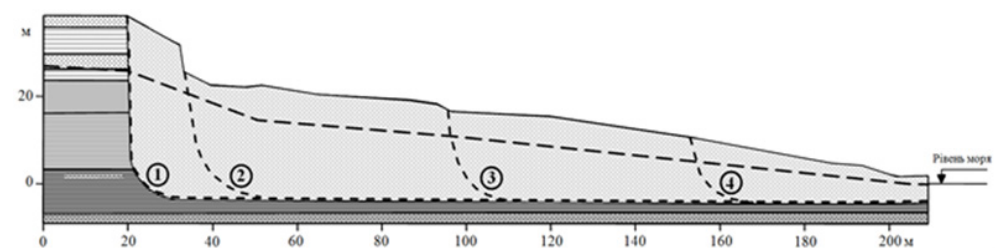


Рис. 2. Схематизований інженерно-геологічний розріз



1 – зсувні накопичення, 2 – суглинок лесовий важкий, 3 – суглинок лесовий легкий (лес), 4 – суглинок важкий напівтвердий, 5 – глина червоно-бура, 6 – вапняки, 7 – глина меотична з прошарками водонасичених сунісів і пісків, 8 – рівень ґрунтових вод, 9 – поверхні зсувного зміщення і їхні номери

Грунтовий масив, що складає плато, характеризується розвитком лесових суглинків твердої консистенції, які мають просадні властивості при замочуванні. На ділянці плато розкрито 3 водоносні горизонти. Перший від поверхні техногенний водоносний горизонт приурочений до лесових ґрунтів, другий – до шару понтичних вапняків і третій – до прошарків пісків і супесів в меотичних глинах. Загальна потужність зсувних накопичень коливається в межах 10–27 м. Тут відклади мають блоковий характер залягання і є нерівномірно обводненими. На ділянці зсувного схилу ґрунтові води залягають на глибині 2,8–7,5 м, абсолютна відмітка рівня ґрунтових вод становить 15,1–25,6 м.

Міцнісні характеристики ґрунтів (C , ϕ) визначалися для природного і водонасиченого стану; методом "плашка по плашці" для природного стану і по змоченій поверхні. Дані оброблялися аналітично і графічно з використанням статистичних характеристик. Оцінку стійкості схилу виконували за допомогою методу Г. М. Шахунянца [20].

Розподіл величин показників фізико – механічних властивостей ґрунтів на схематизованому інженерно – геологічному розрізі здійснювали за допомогою програми Golden Software Surfer, використовуючи лінійний інтерполятор крігінг (kriging). Для побудови тривимірної схеми розподілу вологості в породах схилу були побудовані карти-зрізи розподілу вологості для різних абсолютних відміток. У межах тривимірної схеми кожна з карт-зрізів розміщувалася на висоті, яка відповідає заданим абсолютним відміткам.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Просторова мінливість фізико-механічних властивостей ґрунтів. Вологість на досліджуваній території варіює в широких межах – від 12 до 50 % (рис. 3). В цілому, у напрямку до земної поверхні природна вологість зменшується. На глибині 12 м і більше (в межах третьої тераси) в глинах важких, пилуватих, твердої та напівтвердої консистенції спостерігається локальне збільшення. В цих же глинах має місце локальне зменшення щільності ґрунтів (рис. 4). Щільність змінюється в межах 1,72–2,14 г/см³. Значні зміни щільності спостерігаються до глибини 12 м, далі по глибині щільність змінюється слабо. В районі поверхні ковзання спостерігаються локальні ділянки її знижених значень.



Рис. 3. Розподіл вологості W (%) ґрунтів в межах схилу

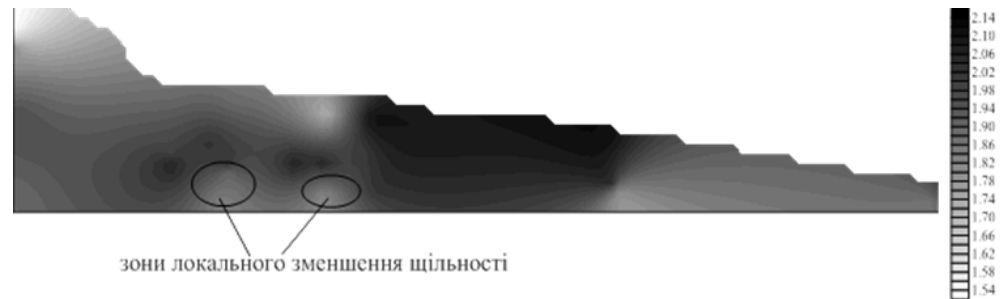


Рис. 4. Розподіл щільності (ρ , g/cm^3) ґрунтів в межах схилу

Зіставлення рис. 3 і 4 показує, що, в цілому, при збільшенні вологості щільність зменшується, що властиве для пилувато-глинистих ґрунтів. Такий взаємозв'язок особливо яскраво виражений для локальних ділянок на глибинах розташування поверхні зсуву (рис. 2).

На дослідженому схилі величини числа пластичності ґрунтів (I_p) змінюються в широких межах від 7,2 % до 59 %, що вказує на високий вміст глинистих мінералів. Ближче до поверхні землі величини (I_p) зменшуються. Максимальні значення числа пластичності (55–60 %) є характерними для пилувато-глинистих ґрунтів.

Показник текучості (I_L) глинистих ґрунтів змінюється від -0,21 до 1,1, що представляє широкий діапазон їх консистенції: від твердої, напівтвердої до текучої. При загальній закономірності зменшення показника текучості з глибиною (I_L) спостерігається його збільшення на окремих ділянках вздовж поверхні зсуву, просторове розташування яких відповідає межах окремих блоків.

Основною особливістю розподілу величин міцнісних властивостей (питоме зчеплення C і кут внутрішнього тертя φ) глинистих ґрунтів основного деформованого горизонту досліджуваного зсувного схилу є нерівномірність змін цих показників вздовж поверхні зсуву. В цілому ґрунти на зсувному схилі характеризуються відносно зниженими значеннями питомого зчеплення від 0,01 МПа до 0,06 МПа. Проте аналіз даних показує, що є ділянки локального зменшення зчеплення (C) ґрунтів в районі поверхні ковзання (рис. 5). На цих же ділянках зафіксовано локальне збільшення вологості ґрунтів (рис. 3). Ґрунти у шарі основного деформованого горизонту характеризуються зниженим значенням питомого зчеплення. У цій частині розрізу зчеплення (C), як правило, не перевищує значення 0,02–0,03 МПа.

Інша характеристика міцнісних властивостей глинистих ґрунтів (кут внутрішнього тертя φ , рис. 6) в досліджуваному схилі міняється в широких межах від 16° до 26° , що є характерним для пилувато-глинистих ґрунтів ($7\text{--}30^\circ$). Зіставлення даних мінливості кута внутрішнього тертя (φ , рис. 6) і вологості (W , рис. 3) показує, що кут внутрішнього тертя в шарах зони поверхні ковзання, приблизно на глибині локального збільшення вологості, із зростанням вологості зменшується.

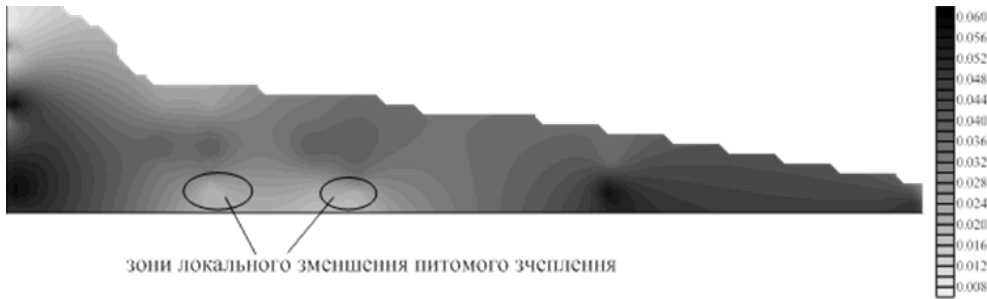


Рис. 5. Розподіл питомого зчеплення (C , МПа) ґрунтів в межах схилу

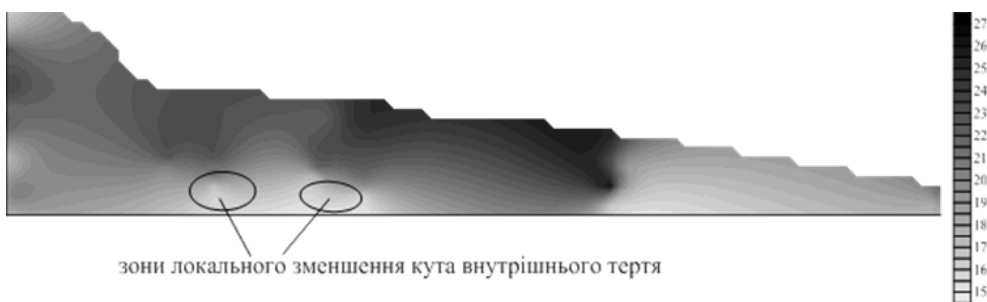


Рис. 6. Розподіл кута внутрішнього тертя (φ , град.) ґрунтів в межах схилу

Слід зазначити, що в переважній більшості випадків локальне збільшення вологості глинистих порід супроводжується зменшенням значень питомого зчеплення і кута внутрішнього тертя, що, власне, і спостерігається в наших дослідженнях.

Дослідження різних авторів [2, 3, 5, 15, 17] також показують, що збільшення вологості глинистих ґрунтів може призвести до зменшення показників їх опору зсуву унаслідок послідовного переходу їх стану від пластичного до текучо-пластичного і далі – до текучого.

Таким чином, отримані результати свідчать про те, що меншим показникам опору порід зсуву в зоні ковзання відповідають більші значення вологості. Оскільки ступінь руйнування структурних зв'язків глинистих ґрунтів в зоні ковзання, в порівнянні з ґрунтами у зсувному тілі, мають бути приблизно однаковими, можна зробити висновок, що основним чинником, що впливає на зменшення показників опору порід зсуву в зоні ковзання, в порівнянні з цими ж параметрами у зсувному тілі, є підвищена вологість порід.

Для наочності просторового розподілу вологості глинистих ґрунтів в межах досліджуваного зсувного схилу ми побудували ізолінії вологості по різних шарах ґрунтів (по ширині схилу, на різних абсолютних відмітках, рис. 7), у межах середньої частини схилу з абсолютними відмітками поверхні 18–21 м (рис. 2). З рис. 7 видно, що підвищені значення вологості ґрунтів в межах території ділянки досліджень і за глибиною розподілені нерівномірно, але, за винятком

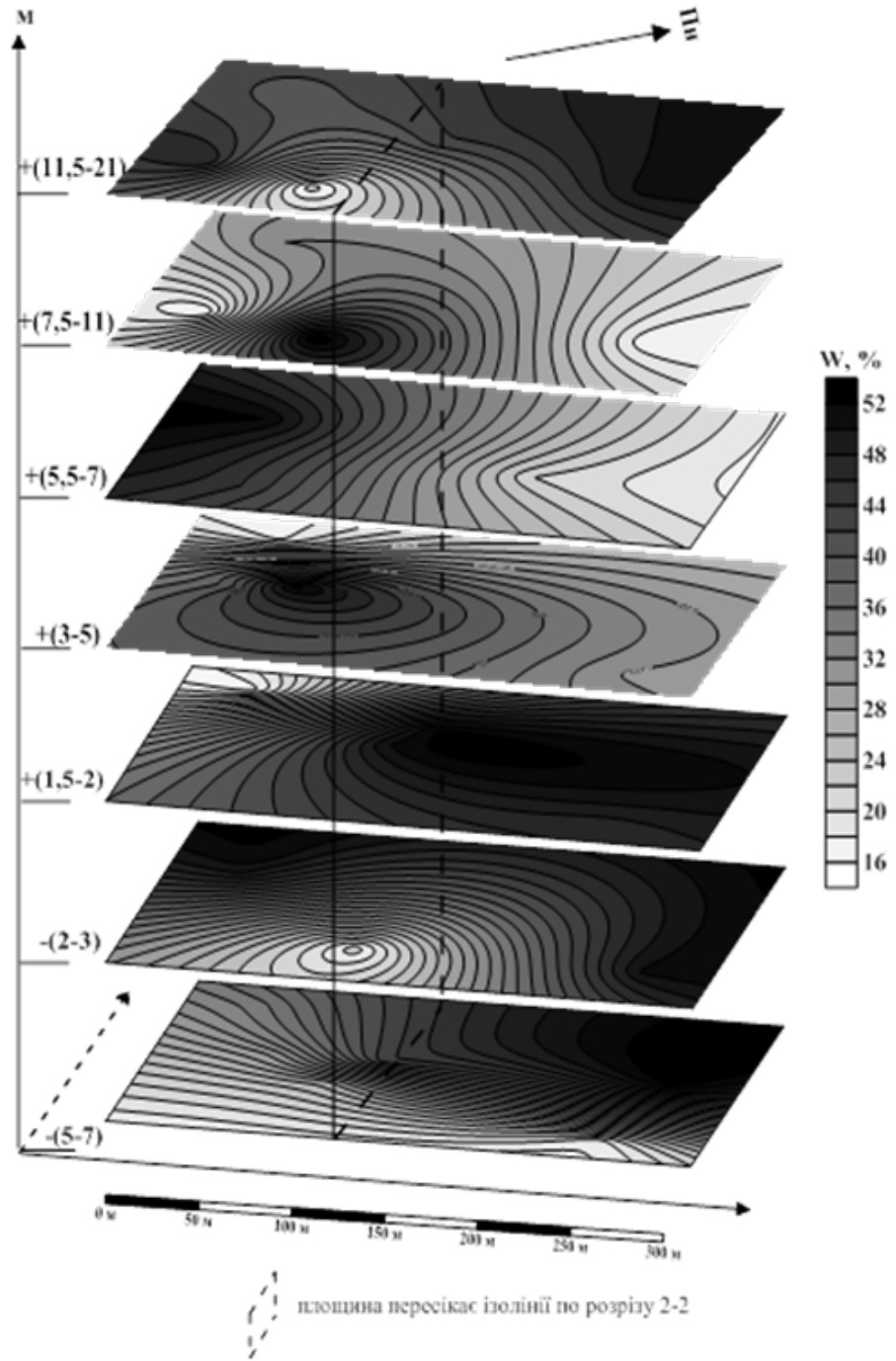


Рис. 7. Просторова мінливість вологості ґрунтів в межах ділянки досліджень на абсолютних відмітках від -6 м до +21 м

поверхневого шару (відмітки від 11,5 м до 21 м), найбільш зволоженою є нижня частина зсувних накопичень потужністю близько 10 м. В цілому, загальна картина розподілу вологості зсувних накопичень в межах всієї ділянки вказує, по-перше, на наявність на різних глибинах локальних ділянок розвантаження з боку корінного масиву порід ґрунтових і підземних вод (понтичний водоносний горизонт) і, по-друге, на просторову неоднорідність фільтраційних властивостей ґрунтів зсувних накопичень і наявність зон їх підвищеної проникності, які обумовлені тріщинувато-блоковою структурою схилу. Цій закономірності відповідає просторовий розподіл розташування на відмітках поверхні зсуву ділянок підвищеної вологості і зниження щільності і міцнісних властивостей ґрунтів.

Дослідження [2, 3, 5, 15, 17] також показують, що в зоні ковзання зсуву спостерігаються підвищені значення вологості глинистих порід. Дане явище пояснюється механічним руйнуванням порід, збільшенням поверхневої енергії і гідратацією глинистих мінералів, що підвищує їх вологість. Аналізуючи вказані вище результати, можна зробити висновок про взаємне посилення процесів ослаблення порід в зоні ковзання, тобто тут спостерігається синергетичний ефект [2, 5].

Оцінка стійкості зсувного схилу. При проведенні інженерно-геологічних досліджень на територіях, які примикають до діючих зсувів або до нестійких схилів, виникає необхідність розрахунку коефіцієнта стійкості. Оцінка стійкості схилу виконана нами за допомогою методу Г. М. Шахунянца [6, 13, 16]. Розрахунки стійкості нами виконувалися для ґрунтів в стані природної вологості та з урахуванням їх повного водонасичення, при якому зменшувалась величина питомого зчеплення ґрунту, що відбувається при збільшенні його вологості. Крім того, при розрахунку враховували вплив на стійкість схилу фільтраційних і сейсмічних сил. Оцінка стійкості схилу виконувалась у відповідності до розрахункової схеми, представленої на рис. 2.

Відповідно до діючих нормативних документів [1], територія ділянки досліджень належить до зони з нормативною сейсмічністю 7 балів. Разом з тим, можливим є збільшення інтенсивності землетрусів за рахунок впливу місцевих умов (рельєф, склад порід і геологічна будова, ґрунтові води та ін.). У районі досліджень головним фактором збільшення величини сейсмічності є наявність ґрунтових вод. У зв'язку з цим кожний з варіантів розрахункових схем передбачав врахування сейсмічних сил при можливій розрахунковій сейсмічності 8 балів.

За результатами вишукувань встановлено, що поверхня зсуву розташована на гіпсометричних рівнях $-5,0 \div -6,3$ м (рис. 2) і приурочена до меотичних глин, які містять прошарки водонасичених супісків. З результатів розрахунків стійкості випливає, що стійкість окремих ділянок схилу (зсувних блоків) відрізняється в залежності від розподілу вологості, щільності і міцності ґрунтів основного деформованого горизонту (рис. 3–6). Так, мінімальні коефіцієнти стійкості отримані для зсувної поверхні 1 ($K_u = 1,20$) і поверхні 4 ($K_u = 1,15$), а

найбільші – для поверхонь 2 ($K_u=1,45$) і 3 ($K_u=1,51$).

Розрахункове моделювання ймовірного збільшення вологості і відповідного зниження міцності ґрунтів внаслідок негативних змін гідрогеологічних умов (зростання рівня ґрунтових і збільшення обсягів розвантаження підземних вод в зсувні накопичення) призводить до зниження коефіцієнтів стійкості для відповідних розрахункових поверхонь зміщення (поверхня 1, $K_u=1,08$; поверхня 2, $K_u=1,24$; поверхня 3, $K_u=1,31$; поверхня 4, $K_u=1,04$), що більшою мірою відповідає сучасному інженерно-геодинамічному стану зсувного схилу [7, 8]. Врахування сейсмічних сил зменшує величини коефіцієнтів стійкості по всіх поверхнях зміщення на 10–12 %. Порівняльний аналіз отриманих коефіцієнтів стійкості в залежності від змін міцнісних властивостей ґрунтів основного деформованого горизонту вказує на те, що зниження стійкості схилу, ступень активності і поширення зсувів відбувається головним чином внаслідок негативних змін гідрогеологічних умов.

ВИСНОВКИ

На досліджуваному зсувному схилі розподіл фізико-механічних властивостей глинистих ґрунтів (вологість і показники опору ґрунтів зсуву), має неоднорідний характер. У межах поверхні ковзання є зони локального підвищення вологості. Показники міцнісних властивостей глинистих ґрунтів (C і φ) значно залежать від ступеня зруйнованості і вологості. Із збільшенням вологості ці показники значно зменшуються, що обумовлює появу зон ослаблення у зсувному масиві.

Формування зон ослаблення, їх поширення і просторовий розподіл розташування в межах основного деформованого горизонту пов'язані із тріщинувато-блоковою структурою схилу, просторовою неоднорідністю фільтраційних властивостей ґрунтів зсувних накопичень і умовами розвантаження ґрунтових і підземних вод в породи зсувного схилу при негативних змінах гідрогеологічних умов.

При протіканні зсувного процесу в зоні поверхні ковзання відбувається руйнування структурних зв'язків в глинистих ґрунтах, що призводить до збільшення поверхневої енергії, до гідратації глинистих мінералів і збільшення вологості ґрунтів, тобто в зоні ковзання спостерігається ефект взаємного посилення процесів ослаблення порід.

Розрахунки показують, що в більшості випадків зменшення коефіцієнтів стійкості схилу обумовлено як загальним зменшенням міцнісних властивостей ґрунтів, так і формуванням локальних зон послаблення та їх поширенням в часі внаслідок негативних змін гідрогеологічних умов. Для об'єктивного обґрунтування і побудови розрахункових схем та підвищення достовірності розрахунків стійкості схилу необхідно враховувати просторову мінливість фізико-механічних властивостей ґрунтів і наявність локальних послаблених зон в межах основного деформованого горизонту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Будівництво в сейсмічних районах України. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України [Текст]: ДБН В.1.1-12:2014. – Київ, 2014. – 110 с.
2. *Бурлуцкий С. Б.* Физико-геологические модели оползневых склонов по данным электро- и сейсмотомографии [Текст]: автореф. дис... канд. геол.-мин. наук: 25.00.10 / Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых" / Санкт-Петербургский государственный университет. – СПб, 2015. – 24 с.
3. *Глазунов В.В.* Оценка устойчивости оползневых склонов по трассе проектируемого газопровода "Южный поток" по данным томографических технологий инженерной геофизики [Текст] / В. В. Глазунов, С. Б. Бурлуцкий // Инженерные изыскания. – 2014. – № 3. – С. 28–34.
4. *Зелинский И. П.* Физико-механические свойства мезотических глин как грунтов основного деформируемого горизонта оползней Одесского побережья [Текст] / И. П. Зелинский, Л. Н. Шатохина // Инженерная геология. – 1990. – №3. – С. 45–48.
5. *Иванов И. П.* Инженерная геодинамика [Текст] / И. П. Иванов, Ю. Б. Тржцинский. – СПб: Наука, 2000. – 416 с.
6. Інженерний захист територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів. Основні положення [Текст]: ДБН В. 1.1-46:2017. – Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. – 43 с.
7. Інформаційний звіт "Про поширення і активізації екзогенних геологічних процесів на території Одеської, Миколаївської та Херсонської областей (за 2015 рік)". ПРИЧОРНОМОР ДРГП [Текст]. – Одеса, 2016. – 112 с.
8. Інформаційний звіт "Про поширення і активізації екзогенних геологічних процесів на території Одеської, Миколаївської та Херсонської областей (за 2016 рік)". ПРИЧОРНОМОР ДРГП [Текст]. – Одеса, 2017. – 110 с.
9. *Кашина Л. И.* Инженерно-геологические изыскания для оздоровительного комплекса, расположенного на б/о "Авиаремонтник". Овидиопольский р-н, Специализированное горно-строительное предприятие "Одесгорстрой" [Текст] / Л. И. Кашина. – Одесса, 2012. – 85 с.
10. *Козлова Т. В.* Инженерно-геодинамические условия оползневого склона территории Приморского бульвара в Одессе [Текст] / Т. В. Козлова, Е. А. Черкез, В. И. Шмуратко // Вісник ОНУ імені І. І. Мечникова. Географ. і геол. науки. – 2013. – Том 18. – Вип. 1 (17). – С. 58–70.
11. *Мелконян Д. В.* Прогноз устойчивости оползневого склона в районе с. Лески (Одесская область) [Текст] / Д. В. Мелконян, О. В. Рудой // Вісник ОНУ імені І. І. Мечникова. Географ. і геол. науки. – 2013. – Том 18. – Вип. 1 (17). – С. 181–187.
12. *Мокрицкая Т. П.* К вопросу об условиях, факторах и критериях геодинамического риска в границах урбанизированных территорий [Текст] / Т. П. Мокрицкая // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Геологія. Географія. Екологія. – 2017. – Вип. 47. – С. 38–41.
13. Настанова щодо інженерного захисту територій, будівель і споруд від зсувів та обвалів [Текст]: ДСТУ-Н Б В.1.1-37:2016. – Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. – 89 с.
14. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз [Текст] / И. П. Зелинский, Б. А. Корженевский, Е. А. Черкез; [и др]; отв. ред.: И. П. Зелинский. – Киев: Наукова думка, 1993. – 227 с.
15. *Симонян В. В.* Изучение оползневых процессов геодезическими методами [Текст] / В. В. Симонян. – Москва: МГСУ, 2015. – 176 с.
16. Справочник по механике и динамике грунтов [Текст] / В.Б. Швец, Л.К. Гинзбург и др. – Київ: Будівельник, 1987. – 232 с.
17. *Чан Ю. Б.* Влияние температуры и влажности на прочностные характеристики глинистых грунтов при статических и вибрационных нагрузках [Текст] / Ю. Б. Чан, О. А. Вовк, Р. А. Самедов // Прикладна гідромеханіка. – 2003. – Т. 5 (77). – № 2. – С. 57–72.
18. *Черкез Е. А.* Закономерности формирования и развития оползневых процессов на террито-

- рии Северного Причерноморья [Текст] / Е. А. Черкез, С. Н. Шаталин // 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.
19. Черкез Е. А. Инженерная геодинамика оползневых склонов Одесского побережья после осуществления противооползневых мероприятий [Текст] / Е. А. Черкез, Т. В. Козлова, В. И. Шмуратко // Вісник ОНУ імені І. І. Мечникова. Географ. і геол. науки. – 2013. – Том 18. – Вип. 1 (17). – С. 15–25.
20. Шахуняц Г. М. Расчет устойчивости склонов и откосов против скольжения пород [Текст] / Г. М. Шахуняц // Материалы совещания по вопросам изучения оползней и мер борьбы с ними. – Киев: Изд-во Киевского ун-та, 1964. – С. 218–226.

REFERENCES

1. Budivnytstvo v seysmichnykh rayonakh Ukrayiny (2014), Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrayiny / DBN V.1.1-12:2014, Kyiv, 2014, 110 p.
2. Burlutskiy, S. B. (2015), *Fiziko-geologicheskiye modeli opolznevykh sklonov po dannym elektro- i seysmotomografii* [Physical and geological models of landslide slopes according to electrical and seismic tomography], *Extended abstract of candidate's thesis*, Saint-Petersburg: Saint Petersburg State University, 24 p.
3. Glazunov, V. V., Burlutskiy, S. B. (2014), Otsenka ustoychivosti opolznevykh sklonov po trasse proyektiruyemogo gazoprovoda "Yuzhnyy potok" po dannym tomograficheskikh tekhnologiy inzhenernoy geofiziki [Assessment of landslide slope stability along the track of the projected "South stream" pipeline using data of tomographic technologies of engineering geophysics], *Engineering survey*, vol. 3, pp. 28–34.
4. Zelinsky I. P., Shatokhina L. N. (1990), Fiziko-mekhanicheskiye svoystva meoticheskikh glin kak gruntov osnovnogo deformiruyemogo gorizonta opolzney Odesskogo poberezh'ya [Physical and mechanical properties of meotic clays as soils of the main deformable horizon of landslides of the Odessa coast], *Engineering geology*, No 3, pp. 45–48.
5. Ivanov, I. P. (2000), *Inzhenernaya Geodinamika* [Engineering Geodynamics], Saint-Petersburg: Nauka, 416 p.
6. Inzhenernyy zakhyst terytoriy, budivel' i sporud vid zsuvis ta obvaliv. Osnovni polozhennya: DBN V. 1.1-46:2017. – Kyiv: Ministerstvo rehional'noho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunal'noho hospodarstva Ukrayiny, 2017, 43 p.
7. Informatsiyyny zvit "Pro poshyrennya i aktyvizatsiyi ekzohennykh heolohichnykh protsesiv na terytoriyi Odeskoyi, Mykolayivskoyi ta Khersonskoyi oblastey (za 2015 rik)". PRYCHORNOMOR DRHP, Odesa, 2016, 112 p.
8. Informatsiyyny zvit "Pro poshyrennya i aktyvizatsiyi ekzohennykh heolohichnykh protsesiv na terytoriyi Odeskoyi, Mykolayivskoyi ta Khersonskoyi oblastey (za 2016 rik)". PRYCHORNOMOR DRHP, Odesa, 2017, 110 p.
9. Kashina, L. I. (2012), Inzhenerno-geologicheskiye izyskaniya dlya ozdorovitel'nogo kompleksa, raspolozhennogo na baze otdykha "Aviaremontnik", Ovidiopol'skiy rayon, [Engineering and geological surveys for the recreational complex, located on the recreation center "Aviaremontnik", Ovidiopol'skiy district], Specialized mining and construction company "Odessgorstroy", Odessa, 85 p.
10. Kozlova, T. V., Cherkez, E. A., Shmouratko, V. I. (2013), Inzhenerno-geodinamicheskie usloviya opolzneвого sklona territorii Primorskogo bulvara v Odesse [Engineering-geodynamic conditions of the landslide slope of the Primorsky boulevard territory in Odessa], *Odessa National University Herald. Series: Geography & geology*, vol. 18, Issue. 1, pp. 58–70.
11. Melkonyan, D. V., Rudoy, O. V. (2013), Prognoz ustoychivosti opolzneвого sklona v rayone s. Leski (Odesskaya oblast) [Stability forecast of landslide – a case study in lesky village (Odessa

- region)], *Odessa National University Herald, Geography & Geology*, vol. 18, Issue 1, pp. 181–187.
12. Mokritskaya, T. P. (2017), K voprosu ob uslovyakh, faktorakh y kryteryakh heodynamicheskoho ryska v hranitsakh urbanyzyrovannykh terrytoriy [To the question of conditions, factors and criteria of geodynamic risk in the boundaries of urban areas], *Karazin Kharkiv National University Bulletin. Geology, Geography, Ecology Series*, vol. 47, pp. 38–41.
 13. Nastanova shchodo inzhenernoho zakhystu terytoriy, budivel' i sporud vid zsuiv ta obvaliv: DSTU-N B V.1.1–37:2016, Kyiv: DP «UkrNDNTS», 2017, 89 p.
 14. Zelinskiy, I. P., Korzenevskiy, B. A., Cherkez, E. A., Shatohina, L. N., Ibragimzade, D. D., Socalo, N.S. (1993), Opolzni severo-zapadnogo poberezhya Chernogo morya: ikh izuchenie i prognoz [Landslides of north-western coast of the Black sea, their study and Prognosis], Kiev: Naukova dumka, 228 p.
 15. Simonyan, V. V. (2015), *Izucheniyе opolznevykh protsessov geodezicheskimi metodami [Study of landslide processes by geodetic methods]*, Moscow: MSUCE, 176 p.
 16. Spravochnik po mekhanike i dinamike gruntov / V.B. Shvets, L.K. Ginzburg i dr. – Kiiv: Budivel'nik, 1987, 232 p.
 17. Chan, Yu. B., Vovk, O. A., Samedov, R. A. (2003), Vliyaniye temperatury i vlazhnosti na prochnostnyye kharakteristiki glinistykh gruntov pri staticheskikh i vibratsionnykh nagruzkakh [The effect of temperature and moisture on the strength characteristics of clay soils under static and vibration loads], *Applied Hydromechanics*, vol. 5 (77), No 2, pp. 57–72.
 18. Cherkez, E. A., Shatalin, S. N. (2012), Zakonomernosti formirovaniya i razvitiya opolznevykh protsessov na territorii Severnogo Prichernomor'ya [Laws of formation and development of landslides processes on the territory of the Northern Black Sea]. *Engineering geodynamics of Ukraine and Moldova (landslides geosystems)*, vol 2, Kiev–Chernivtsi: Bukrek, pp. 232–340.
 19. Cherkez, E. A., Kozlova, T. V., Shmouratko, V. I. (2013), Inzhenernaya geodinamika opolznevykh sklonov Odesskogo poberezhya posle osushchestvleniya protivopolznevykh meropriyatiy [Engineering geodynamics of landslides of the Odessa sea coast after anti-landslide measures], *Odessa National University Herald, Geography & Geology*, vol. 18, Issue 1, pp. 15–25.
 20. Shakhnyants, G. M. (1964), Raschet ustoychivosti sklonov i otkosov protiv skolzheniya porod, [Slope and scarps stability calculation against sliding rocks], *Proceedings of the meeting on the study of landslides and control measures*. Kiev: Kiev University Press, pp. 218–226.

Надійшла 16.10.2019

Е. А. Черкез, доктор геол.-мин. наук, профессор

Д. В. Мелконян, канд. физ.-мат. наук, доцент

В. И. Скальский, аспирант

Одесский национальный университет имени И. И. Мечникова,

кафедра инженерной геологии и гидрогеологии,

ул. Дворянская, 2, Одесса, 65082, Украина

eacherkez@gmail.com, dmelkon@gmail.com, 42sraf@gmail.com

ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СВОЙСТВ ГРУНТОВ НА УСТОЙЧИВОСТЬ СКЛОНА

Резюме

Проведен анализ результатов лабораторных и полевых исследований грунтов оползневого склона на побережье Черного моря. Изучена пространственная

изменчивость физико-механических свойств глинистых грунтов оползневого склона. Выявлена связь между физическими и прочностными характеристиками глинистых грунтов. Установлено, что показатели прочностных свойств глинистых грунтов значительно зависят от степени их разрушенности и влажности. Оценено влияние изменчивости свойств грунтов на устойчивость склона с учетом действия фильтрационных и сейсмических сил. Расчеты показывают, что в большинстве случаев уменьшения коэффициентов устойчивости склона обусловлено уменьшением прочностных свойств грунтов в результате негативных изменений гидрогеологических условий.

Ключевые слова: физико-механические свойства грунтов, оползневой склон, устойчивость склона, фильтрационные и сейсмические силы.

E. A. Cherkez

D. V. Melkonyan

V. I. Skalskyi

Odessa I. I. Mechnikov National University,

Department of Engineering Geology and Hydrogeology,

Dvoryanskaya St., 2, Odessa, 65082, Ukraine

eacherkez@gmail.com, dmelkon@gmail.com, 42sraf@gmail.com

EFFECT OF SPATIAL VARIABILITY OF SOIL PROPERTIES ON SLOPE STABILITY

Abstract

Problem Statement and Purpose. On the slope surface numerous deformations are currently observed. These are contraction cracks, cracks with a lowered shoulder, houses movement, landslide stall walls, etc. There is also a retreat of lip of the coastal ledge and of the edge, debris and landslides in the nearlip part of the plateau. In this regard, the study of spatial variability of soil properties and slope stability assessment is an important task.

The purpose of the paper is to study the clay soil physical and mechanical properties spatial variability patterns of the slope in Ovidiopolsky district of Odessa region and its impact on the slope stability taking into account the seismic and hydrodynamic forces.

Data & Methods. Landslides monitoring on the key area has been carried out by engineering geological survey SMC LLC "Odesgorstroy", using the results of field (geodetic survey) and laboratory studies. The shear strength parameters were determined by direct shear test for natural and water-saturated soils. The data was processed analytically and graphically using statistical characteristics. The slope stability assessment was performed using "blocks method" (G. M. Shakhunyants method).

Results. It is revealed that the areas where slope soils have high moisture content are weakened areas. Clay soil strength characteristics depend on the degree of their destruction and saturation. The values of these characteristics significantly decreased

with the increase in moisture. This leads to the appearance of weakened areas in the landslide massif. When landslide occur, the structural bonds in clay soils are destroyed in the slip surface area, which leads to an increase in surface energy, to the hydration of clay minerals and an increase in soil moisture. That is, a synergistic effect is observed in the slip area, which is reflected in the mutual reinforcement of soil weakening processes.

The calculation shows that in most cases the decrease of the slope stability coefficients is due to a decrease in the strength properties related to negative changes in hydrogeological conditions.

Keywords: physical and mechanical properties of soils, landslide slope, slope stability, filtration and seismic forces.