

**ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. І.І.МЕЧНИКОВА**

На правах рукопису

ЧЕРКЕЗ Євген Анатолійович

**ЗСУВИ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО УЗБЕРЕЖЖЯ
ЧОРНОГО МОРЯ**

*(моделювання, прогноз стійкості схилів
та оцінка ефективності
протишсувних заходів)*

Спеціальність 04.00.07 --

інженерна геологія, мерзлотознавство та ґрунтознавство

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора геолого-мінералогічних наук**

Одеса — 1994

АВ 30.309

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському державному університеті ім.І.І.Мечникова.

Науковий консультант

- доктор геолого-мінералогічних наук, професор **І.П.Зелінський**

Офіційні опоненти

- доктор геолого-мінералогічних наук, професор **В.М.Саломатін**
- доктор геолого-мінералогічних наук, **Г.І.Рудько**
- доктор фізико-математичних наук, професор **Г.І.Кузьменко**

Провідна організація

- Проектно-розвідувальний та науково-дослідний інститут **«ЧОРНОМОРНДПРОЕКТ»**

Захист відбудеться «23» червня 1994 року об 11-й годині на засіданні спеціалізованої ради Д 05.01.03 в Одеському державному університеті за адресою: 27.0058, м.Одеса, Шампанський пров., 2, геолого-географічний факультет, ауд. 110.

З дисертацією можна ознайомитись в науковій бібліотеці Одеського університету.

Автореферат розіслано «19» травня 1994 р.

Вчений секретар спеціалізованої ради

О.П.Янковий

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00777615 (X)

ВСТУП

Актуальність роботи. Сучасний стан вивчення північно-західного узбережжя Чорного моря відстає від темпів його освоєння і тому питання науково-обґрунтованого аналізу природної обстановки та забезпечення захисту об'єктів народного господарства від екзогенних геологічних процесів і, в першу чергу, від зсувів та обвалів, висовуються до ряду найбільш актуальних.

Потребують розробки та єдиної методичної постановки питання моделювання та інженерно-геологічної схематизації зсувних процесів, конструювання моделей, що враховують особливості природної обстановки і відповідають вимогам подібності, перенесення результатів моделювання на природу, прогнозування стійкості схилів та відкосів і оцінки ефективності протизсувних заходів (ПЗЗ). У зв'язку з цим подальша розробка та практична реалізація теорії та методики моделювання зсувних схилів та відкосів, оцінка їх напружено-деформованого стану (НДС) та стійкості вважаються сучасними і актуальними.

Аналіз змін геологічного середовища на ділянках здійснення комплексу ПЗЗ (експеримент в природі) являють великий інтерес для теорії та практики. Для теорії — тому, що узагальнення конкретних спостережень відповідає новим задачам інженерної геології — раціональному використанню та прогнозу змін геологічного середовища. Для практики — тому, що досвід багаторічних спостережень за стійкістю схилів після здійснення ПЗЗ дозволяє оцінити їх інженерно-геологічну ефективність і об'єктивно перевірити відповідність теоретичних уявлень, покладених в основу проекту, фактичним результатам.

Мета та задачі роботи. Мета роботи полягає у вивченні закономірностей зсувних процесів та розробки методичних основ їх моделювання, прогнозу стійкості схилів і оцінці інженерно-геологічної ефективності ПЗЗ. У відповідності з метою роботи розв'язувались такі задачі:

1. Аналіз інженерно-геологічних умов формування зсувів, їх структурно-морфометричних та кінематичних параметрів, особливостей морфодинаміки схилів та механізму зсувного процесу.
2. Дослідження та визначення кількісних і якісних характеристик факторів, що впливають на розвиток зсувів та визначають формування НДС порід та стійкість схилів.
3. Удосконалення методів моделювання зсувів, прогнозу стійкості та деформування схилів.

4. Розв'язання з допомогою моделювання задач про напружений стан порід та стійкість зсувних схилів для оцінки відносної ролі природно-техногенних факторів, що визначають закономірності розвитку зсувів.

5. Прогноз стійкості (оцінка можливості розвитку або запобігання зсувів) та деформування (визначення величин та швидкості зміщень) зсувних схилів за результатами моделювання.

6. Розробка методичних основ та оцінка інженерно-геологічної ефективності ПЗЗ (комплексу та окремих споруджень) за даними натурних спостережень та результатами моделювання.

Наукова новизна роботи полягає у такому:

1. Виявлені основні параметри блокової структури території та узбережжя м.Одеси (системи тріщин у понтичних вапняках, тектонічний крок та напрямки блокоформуєчих зон різного порядку, виражених у глинистих породах), доведені сучасна тектонічна активність блоків та вплив цих факторів на морфометричні та кінематичні параметри характерних типів зсувів, розвиток та механізм зсувного процесу, структуру та гідродинамічний режим потоків підземних вод, деформації будов та протизсувних споруд.

2. Використано комплекс досліджень, що об'єднує експериментальні (польові та лабораторні) методи вивчення НДС та стійкості зсувних схилів і натурні режимні спостереження для встановлення закономірностей зсувного процесу, прогнозу стійкості та деформування схилів.

3. Розроблені методика та технологія моделювання методом еквівалентних матеріалів (МЕМ), що дозволяють враховувати структурно-тектонічні та літологічні особливості масивів порід, вплив факторів та сил різної природи, здійснювати поточний контроль деформацій та напруг, кількісно оцінювати стійкість зсувного схилу моделі на різних етапах експерименту і прогнозувати за його результатами величини та швидкості зсувних зміщень в натурних умовах на різних стадіях зсувного циклу.

4. Встановлені закономірності формування напруженого стану порід зсувних схилів, положення та розміри зон концентрацій напруг та пластичних деформацій в залежності від морфометрії схилу, ступеню неоднорідності (співвідношення фізико-механічних властивостей) порід, що складають масив, умов розташування жорсткого шару відносно схилу та слабких — у межах основного деформованого горизонту (ОДГ).

5. Методами моделювання (МЕМ, електрогеодинамічних аналогій - ЕГА та кінечних елементів - МКЕ) вивчено вплив силового діяння напорних вод, глибини розташування в межах ОДГ «напорних» прошарків та ліній на НДС та стійкість схилів, механізм розвитку зсувів видавлювання.

6. За даними режимних спостережень встановлені гідрогеодинамічні критерії характерних типів зсувів: явище зниження напорів меотичного водоносного горизонту в періоди активізації деформацій повзучості порід ОДГ та за 1-5 років до стадії основного зміщення зсуву видавлювання; ступінь обводнення (потужність четвертичного водоносного горизонту) лесових порід прибровочної частини плато, що визначає морфометричні параметри та закономірності розвитку зсувів в лесових породах.

7. Визначені кількісні показники зсувних деформацій та змішень, характер та динаміка їх розвитку в залежності від структурно-тектонічних особливостей масивів порід, стадії зсувного процесу, інтенсивності проявлення та режиму факторів.

8. Виявлені види траєкторій переміщень блоків зсувних та корінних порід і встановлено, що структура та динаміка поля деформації обумовлені літологічними особливостями порід ОДГ, просторовим розподілом та активністю блокоформуєчих зон.

9. Розроблені методичні основи, встановлені критерії та виконана оцінка інженерно-геологічної ефективності як окремих видів ПЗЗ, так і комплексу у цілому.

Основні положення, що виносяться до захисту.

1. Типи зсувів, їх морфометричні та кінематичні параметри, закономірності розвитку та механізм зсувного процесу, НДС порід та стійкість схилів визначаються сполученням та взаємодією природних та техногенних факторів при ведучій ролі морфометричного, структурно-тектонічного та літологічного факторів, а також сучасних тектонічних (диференційованих блокових) рухів.

2. Запропонована методика вивчення НДС порід та стійкості зсувів являє собою комплекс удосконалених методів моделювання (тензометричної сітки, ЕГА, МКЕ та МЕМ), можливості якого забезпечують відбір та послідовне включення в аналіз факторів (морфометричних, структурно-тектонічних, гідрогеодинамічних та ін.), які обумовлюють просторові закономірності розподілу напруг та стійкість схилів.

3. Науковою та методичною основою вирішення проблеми прогнозу зсувів та стійкості схилів повинні служити результати моделювання НДС порід та стійкості схилів; це дозволяє об'єктивно обрати положення ймовірної поверхні зсувного зміщення та оцінити загальну стійкість схилу вздовж цієї поверхні, виявити зони потенційної нестійкості та динаміку їхнього розвитку, встановити об'єм та види інженерно-геологічних досліджень в районах розвитку зсувів. Методичним доповненням служать критерії зсувного процесу (морфометричні, кінематичні, деформаційні та

гідрогеодинамічні), встановлені за результатами натурних експериментів та даних режимних спостережень.

4. Розроблена методика та виконаний на її основі аналіз інженерно-геологічної ефективності як окремих видів ПЗЗ (зрізання та планування схилу, дренажування підземних вод), так і комплексу у цілому показує, що після його будівництва, — в результаті усунення або значного зниження негативного впливу зсувоформуючих факторів, — змінився якісний характер зсувного процесу, його динаміка та кількісні параметри. Комплекс ПЗЗ забезпечує тривалу стійкість схилів, деформації яких у багаторічному розрізі мають згасаючий характер.

Практичне значення роботи. Розроблені методичні основи моделювання НДС масивів порід схилів, прогнозу їх стійкості та оцінки інженерно-геологічної ефективності комплексу ПЗЗ дозволяють розв'язати такі задачі:

- встановлення закономірностей розподілу напруг у масивах порід схилів складної геологічної будови, що перебувають у полі сил різної природи;

- визначення ступеня впливу на НДС та стійкість схилів різних природних та штучних факторів;

- оцінка та прогноз стійкості зсувних схилів;

- оцінка інженерно-геологічної ефективності як окремих ПЗЗ, так і комплексу у цілому; виділення, неблагополучних ділянок та вирішення питання про заходи їх стабілізації;

- оптимізація інженерно-геологічних розвідувань в районах розвитку зсувів.

Реалізація роботи. Основні результати дисертаційної роботи використані при розробці Генеральної схеми протизсувних та берегозахисних заходів на Чорноморському узбережжі України, в проекті III-ої черги будівництва протизсувних та берегозахисних споруджень м.Одеси, проектуванні відкосів причалів порта Південний на Чорному морі. Основні методичні положення роботи, що пов'язані з розробкою методів прогнозу стійкості схилів та оцінки ефективності ПЗЗ, прийняті до впровадження та використовуються підприємством «Одесакомунпроект» Держкомітету України по житлово-комунальному господарству, ПНДІРС Мінбуду Російської Федерації, Одеським протизсувним управлінням.

Багато які аспекти роботи використовуються в учбовому процесі при читанні курсів з механіки ґрунтів, інженерно-геологічних прогнозів та моделювання, по котрим видані учбові посібники.

Вихідні матеріали та особистий внесок автора. Дисертація базується на результатах багаторічних (з 1972 р.) польових, експериментальних та теоретичних дослідженнях автора на кафедрі інженерної геології та гідрогеології Одеського держуніверситету у відповідності до плану науково-дослідних робіт, у виконанні яких дисертант приймав участь як відповідальний виконавець, а з 1983 р. як науковий керівник. В процесі підготовки роботи автором були використані та узагальнені матеріали багаторічних натурних спостережень та інженерно-геологічних розвідувань, виконаних Причорноморською ПЗЕ, інститутами «Одесакомунпроект», «Чорноморндіпроект», Одеським протизсувним управлінням та науково-дослідницькою лабораторією інженерної геології Одеського університету. Виконано великий обсяг моделювання для вивчення НДС порід та стійкості схилів та відкосів в районі узбережжя м.Одеси, Чорноморського узбережжя України, порта Південний та на інших ділянках. Проведені польові виміри величин напруг та інструментальні виміри деформацій різних видів підземних споруд.

Особистий вклад автора дисертації полягає в розробці методичних основ вивчення НДС і прогнозу стійкості схилів, оцінки ефективності ПЗЗ, удосконаленні методів моделювання зсувних процесів, здійсненні методичного керівництва польовими та лабораторними експериментальними дослідженнями по вивченню стійкості та деформуванню схилів, в обробці та інтерпретації результатів цих досліджень та даних багаторічних стаціонарних спостережень в районах розвитку зсувів та побудованих протизсувних споруд.

Наукова апробація та публікації. Основні матеріали та теоретичні положення дисертаційної роботи викладені в доповідях і обговорювались на Всесоюзній нараді по методиці, техніці та результатах морських інженерно-геологічних та берегових досліджень (Одеса, 1973), Республіканському семінарі «Інженерно-геологические исследования в прибрежной зоне» (Київ, 1974), Республіканському семінарі «Полевые методы в инженерной геологии» (Київ, 1977), Республіканському науково-технічному семінарі «Борьба с оползневыми и абразионными процессами на территории городов и городских агломераций» (Одеса, 1979), V Всесоюзній конференції «Проблемы инженерной геологии» (Свердловськ, 1984), 27 Міжнародному геологічному конгресі (Москва, 1984), Всесоюзній конференції «Подземные воды и эволюция литосферы» (Москва, 1985), III Всесоюзному семінарі «Современные проблемы инженерной геологии и гидрогеологии территорий городов и городских агломераций» (Одеса, 1987), Республіканській науково-технічній

нараді «Оценка устойчивости склонов и инженерная защита оползнеопасных территорий» (Чернівці, 1987), I Всесоюзному з'їзді гідрогеологів, інженерів-геологів та геокріологів (Київ, 1988), Всесоюзній конференції «Екзогенний морфогенез в різних типах природної середовища» (Москва, 1990), Американсько-Українській конференції по вивченню та захисту навколишнього середовища (Київ, 1993), Всеукраїнській нараді «Проблеми інженерного захисту територій від зсувів та руйнування берегів морів, водосховищ, озер та рік України» (Одеса, 1993), звітних наукових конференціях геолого-географічного факультету ОДУ (1976 — 1992) та інших нарадах.

По темі дисертації надруковано 34 роботи, у тому числі три учбових посібника, розділи в монографії «Зсуви північно-західного узбережжя Чорного моря, їх вивчення на прогноз» (Наукова думка, Київ, 1993).

Структура та обсяг роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, 9 глав, з'єднаних згідно з задачами, що вирішуються, в три частини та заключення. Складає 300 сторінок машинописного тексту, 102 рисунки, 37 таблиць, список літератури з 359 поіменуваних вітчизняних та зарубіжних робіт.

Автор виражає свою щирю подяку та вдячність професору І.П.Зелінському, під керівництвом якого він протягом багатьох років займався вивченням проблем інженерної геодинаміки, чий постійний вплив, цінні поради та консультації сприяли виконанню цієї роботи.

Щиру подяку автор також висловлює співробітникам кафедри інженерної геології і гідрогеології ОДУ за неодноразові обговорення результатів досліджень та допомогу у підготовці роботи. Особливу вдячність за методичну допомогу в розробці окремих питань автор висловлює к.т.н. В.І.Абрамовичу, к.г.-м.н. В.І.Шмуратко, доцентам Д.Д.Ібрагімзаде та Л.М.Шатохіной.

ЗМІСТ РОБОТИ

1. ПРОБЛЕМА ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНОГО ВИВЧЕННЯ ЗСУВІВ ТА ПРОГНОЗУ СТІЙКОСТІ СХИЛІВ

Складність, багатофакторність та недостатнє вивчення зсувів північно-західного узбережжя Чорного моря потребує розгляду проблеми у всій повноті: від встановлення закономірностей формування та розвитку зсувів до оцінки інженерно-геологічної ефективності комплексів ПЗЗ.

З усіх зсувів північно-західного узбережжя Чорного моря найбільш вивченими є зсуви Одеського узбережжя. Їм присвячені численні публікації, що виходять з друку більш 150 років. Разом з цим, досвід вивчення та боротьби із зсувами в районі м.Одеси не завжди прийнятний на усьому протязі північно-західного узбережжя, тому що окремі його ділянки відрізняються своїми специфічними особливостями прояву зсувів, що повністю виключає стандартний підхід до оцінки умов та факторів їх виникнення. У межах північно-західного узбережжя трапляються як зсуви Одеського типу, так і зсуви, які відрізняються за своєю морфологією та динамікою від них. Недостатньо вивченими (у тому числі і для Одеського узбережжя) до цієї пори залишались такі питання:

— структурно-морфометричні та кінематичні (напрямок, амплітуда та швидкість зміщення зсувних мас) характеристики зсувів, розташування та форма поверхні зміщення, механізм зсувного процесу та ін.;

— кількісні та якісні характеристики факторів зсувів, до яких можуть бути віднесені наявність та просторовий розподіл систем розривів та тріщин, напрямок та тектонічний крок блокоформуючих (тріщинно-послаблених) зон різного порядку; кінематика сучасних розломно-блокових рухів; гідродинамічний режим підземних вод, просторова структура фільтраційних потоків та неоднорідність водовміщуючого середовища; міцнісні, деформаційні та реологічні властивості порід;

— оцінка відносної ролі факторів, що впливають на розвиток зсувів та стійкість схилів, а саме: структурно-тектонічних особливостей масивів порід (напрямок та тектонічний крок блокоформуючих зон, їх активність, вплив на режим підземних вод та кінематичні характеристики зсувних зміщень); висотного розташування у розрізі схилів жорстких та слабких шарів (умови їх залягання відносно схилу); співвідношення міцнісних та деформаційних характеристик різновидностей порід, що формують схил; силового впливу підземних вод та зміни фізико-механічних властивостей ґрунтів; ступеню та режиму обводненості лесових порід прибровочної частини плато та глибини розташування у межах ОДГ прошаркіє та лінз пісків, які вміщують напорні води; морфометричних параметрів схилу, підрізок та пригрузок; комплексу ПЗЗ, що спрямовані на ліквідацію шкідливого впливу основних зсувоутворюючих факторів, і значення часу його реалізації в залежності від стадії зсувного процесу.

Методи моделювання являють собою один із основних засобів вивчення розподілу величин напруг та розвитку деформацій в породах схилів складної геологічної будови, дозволяють у сукупності оцінювати вплив факторів, про-

аналізувати винекнення, характер та розвиток у часі зсувних деформацій, виконати кількісний та якісний прогноз стійкості схилів. Дослідження НДС масивів порід схилів складної геологічної будови, що підлягають впливу різних силових діянь, є складна задача, і тому її розв'язання здійснювалось з допомогою комплексу методів моделювання.

Найбільш перспективним для розв'язання задач оцінки та прогнозу стійкості зсувного схилу є метод зіставлення полів діючих напруг, одержаних за результатами моделювання, і показників міцності порід (І.П.Зелінський).

Методичний комплекс, що об'єднує експериментальні (польові та лабораторні) методи вивчення НДС та стійкості схилів і натурні режимні (геодезичні, гідрогеодинамічні) спостереження, забезпечує розв'язання задач виявлення закономірностей розвитку зсувних процесів та встановлення їх критеріїв, прогнозу стійкості та деформованості зсувних схилів.

ЧАСТИНА 1. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНІ УМОВИ ТА ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ

2. ПРИРОДНІ УМОВИ

Вивчення причин та закономірностей розвитку глибоких зсувів в районі м.Одеси дозволяє зробити висновки про відсутність безпосередньої залежності між активізацією зсувів та змінення кліматичних умов. Синхронне зіставлення щорічної кількості зсувів в лесовидних сутлинках за період 1950 — 1985 рр. по ділянці Одеського узбережжя від мису Великий Фонтан до сел.Чорноморка з річною кількістю атмосферних опадів свідчить про відсутність чітко вираженої відповідності. На розвиток зсувних процесів, через зміну гідрологічних умов в прибережній зоні моря, впливає вітровий режим.

Початок вивченню геологічної будови та її впливу на розвиток зсувів було закладено М.Гаюї, Н.П.Барбот-де-Марні, І.Ф.Сінцовим, А.М.Августовичем, А.А.Іностранцевим, І.В.Мушкетовим, Н.А.Головкинським та ін. Узагальнюючі праці з геології, стратиграфії, тектоніки, гідрогеології, інженерної геології надрукували М.І.Андрусов, А.К.Алексєєв, А.Д.Архангельський, М.М.Страхов, В.Г.Бондарчук, М.Ф.Веклич, Р.Р.Виржиковський, П.К.Заморій, В.Ф.Краєв, Б.Л.Личков, М.В.Муратов, А.В.Чекунов, А.І.Бабінець, Е.П.Ємельянова, І.В.Попов, І.Я.Яцько, Л.Б.Розовський, І.Н.Сулімов, І.П.Зелінський та багато інших.

В геологічній будові берегових схилів моря приймають участь стратиграфо-генетичні комплекси меотичного, понтичного, середньо- та верхнь-

опліоценового та плейстоценового віку. В розрізі мають перевагу дисперсні, в основному, глиністі породи; підлегла роль належить піщаним та сцементованим карбонатним відкладам. Комплекси порід характеризуються різним ступенем неоднорідності літологічного складу і просторовою мінливістю фізичних та механічних властивостей.

Територія Північного Причорномор'я неоднорідна в тектонічному плані. Район розташований у зоні зчленування південного краю докембрійської Східно-Європейської платформи та епіпалеозойської Скіфської плити. Для внутрішньої структури докембрійських комплексів характерні субмеридіональні, а для мезо-казнозойських — субширотні дислокації, що розчленовують земну кору на блоки різної величини. Вплив разломів знайшов відображення у верхньому структурному поверсі у виді диз'юнктивних та плікативних порушень, що визначають гіпсометричне розташування товщ у відношенні до сучасного базису денудації. Розташування району у межах генетично різнорівної та різновікової основи, наявність сітки тектонічних різнонаправлених порушень в умовах тенденції Чорноморської западини до опускання та розширення обумовили характер та форму проявлення рухів на неотектонічному етапі. Негативні рухи земної кори з нерівномірною по фронту досліджуємого району швидкістю продовжуються і в теперішній час.

Сучасні тектонічні рухи виявляються у вигляді деформацій поверхні та в надрах під впливом внутрішніх та зовнішніх відносно літосфери факторів. Аналіз результатів повторного нівелювання на базі сучасних уявлень про структурно-тектонічні особливості регіону дозволяє зробити висновок про те, що деформації земної поверхні території м.Одеси в значній мірі обумовлені розломно-блоковими рухами. Тектонічний успадкований характер рухів геоблоків підтверджується порівнянням даних геодезичних спостережень за періоди 1928 — 1951 рр. та 1977 — 1988 рр. Складено карти деформацій земної поверхні території м.Одеси і за величинами градієнтів деформацій виділено зони активних тектонічних порушень.

Встановлено, що пошкодження будов та споруд обумовлені сумісним впливом ендо- та екзотектонічних факторів. Найбільшу чутливість до проявлень різних факторів мають блоки, сумірні з мінімальним кроком тектонічних порушень, який складає перші десятки метрів. Цей висновок підтверджено аналізом деформацій гнучких лінійних споруд (галерея, штольні, хвилеломи), що входять до складу комплексу ПЗЗ. Геодезичними спостереженнями встановлено проявлення в безпосередній близькості від ерозійних врізів процесу компенсаційної глибинної повзучості, обумовленого добре вираженими пластичними якістьми метотичних глин, разблокованістю компетентного шару та сучасними тектонічними рухами.

Розломно-блокові рухи супроводжуються зміною гідродинамічного режиму підземних вод як у самих блоках, так і в блокоформуючих (розломних) зонах. Для аналізу гідродинамічного режиму ґрунтових вод

використовувались дані режимних вимірів дебітів свердловин дренажної завіси, яка входить до складу комплексу ПЗЗ. Дренажний ряд складається з 143 свердловин з відстанню між ними 20–25 м, розташований у межах плато на відстані 50–150 м від бровки схилу, має протяг 3.5 км. Середні багаторічні (1964 — 1990) дебіти дренажних свердловин змінюються вздовж узбережжя у широкому діапазоні (0.1 м куб./доб. — 11.0 м куб./доб.). По результатам спектрально-гармонічного аналізу встановлено, що відстань між ділянками підвищеної багатоводності завіси складає 1116 м, 559 м та 70–60 м. Це вказує на наявність зон підвищеної проникності — блокоформуючих зон (БФЗ) різного порядку (рис.1), у межах котрих гідродинамічний режим ґрунтових вод в значній мірі обумовлений розломно-блоковими рухами.

Динаміка змін багатоводності свердловин у межах БФЗ I (умовно 1 порядку, тектонічний крок — 1116 м) та БФЗ II (умовно 2 порядку, тектонічний крок — 559 м), відділяючих найбільш значні блоки, характеризується зворотним взаємозв'язком. Порівняння даних режимних спостережень (1965 — 1990 рр.) за дебітом дренажних свердловин, що обрані у відповідності до їх розташування у межах БФЗ різного порядку, виявляє наявність прямих кореляційних зв'язків в однорангових БФЗ та переважно зворотних між різноранговими. Гідродинамічний режим ґрунтових вод в значній мірі визначається розломно-блоковими рухами, а БФЗ близьких порядків (I та II) являють собою гідродинамопару, яка чутливо реагує на енто- та екзофактори.

Швидкості сучасних тектонічних рухів розподілені нерівномірно як вздовж узбережжя, так і в напрямку від берега до моря. Диференційований характер розломно-блокових рухів виявляється на різномасштабних структурно-геологічних (структурні поверхні та яруси тектоносфери), геоморфологічних (плато та зсувний схил) та інженерно-геологічних (місто та окремі споруди) рівнях. Крім вертикальних рухів мають місце і горизонтальні, які виявляються у чергуванні зон сучасного стиску та розтягнення. Цим створюється передумова утворення тектонічно послаблених — блокоформуючих (розущільнювання, розривних порушень і т.д.) зон різного порядку, що має велике інженерно-геологічне значення у зв'язку з питаннями вивчення зсувних процесів, прогнозу стійкості схилів та оцінки ефективності ПЗЗ.

Сучасний геоморфологічний вигляд узбережжя сформувався на понтичній поверхні вирівнювання в умовах постійності порівняно віддалених джерел знесення матеріалу, незначних перевищень поверхні вирівнювання над рівнем моря та невеликих амплітуд тектонічних рухів при постійній тенденції до занурювання. В результаті взаємодії моря з облямовуючим його суходолом в приурізовій частині останнього сформований ряд абразійно-аккумулятивних, а також гравітаційних форм рельєфу. Зсувні процеси, в результаті котрих сформувалася сучасна форма прибережних

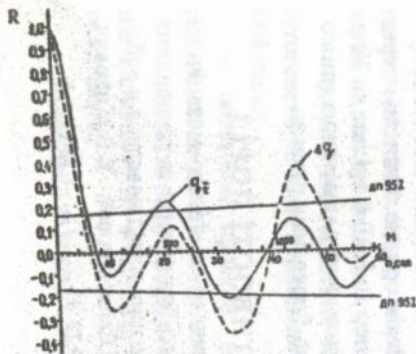


Рис. 1

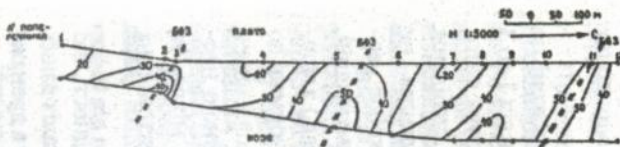


Рис. 2

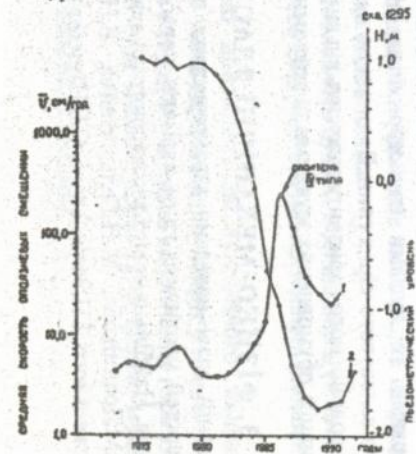


Рис. 3

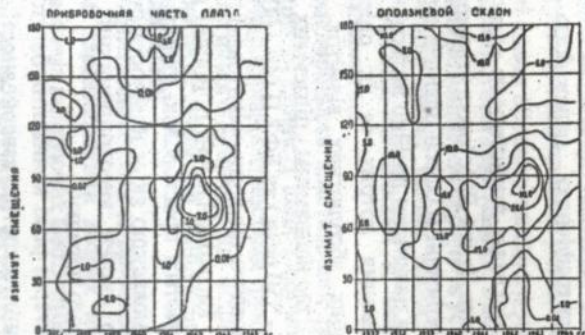


Рис. 4

- Рис. 1. Автокореляційні функції просторового розподілу дебітів дренажних свердловин.
- Рис. 2. Ізолінії горизонтальних зміщень (мм) реперів по ділянці «Порт» за період 1981—1991 рр. (БФЗ — блоко-формуючі зони).
- Рис. 3. Графіки середніх по ділянці «Сичавка» швидкостей зсувних зміщень (1) і середньорічних п'езометричних рівнів (2) меотичного водонасного горизонту.
- Рис. 4. Узагальнені кінематичні схеми зсувних зміщень по ділянці Ланжерон-Аркадія Одеського узбережжя (ізолінії — швидкості зміщень, см/рік); примітка: виключені дані стадії основного зміщення зсуву в районі санаторія ім. В.П.Чкалова (1963 р.).

схилів, розвинуті від с.Санжейка до м.Очакова. Рел'єф зсувного схилу значно впливає на розподіл напруг в масиві порід, що підтверджується результатами лабораторного моделювання напруженого стану.

Безпосередньо в зсувному процесі приймають участь відклади від четвертичних до меотису і тому при розгляданні гідрогеологічних умов доцільно обмежитися відповідною стратиграфічною належністю водоносних горизонтів.

Підземні води в лесовидних відкладах плейстоцену розповсюджені по всій території водороздільного плато Дунай-Дністро та утворюють від 1 до 3 водоносних горизонтів. У межах території м.Одеси планова структура потоку ґрунтових вод характеризується наявністю лінійно витягнутих стабільних купольних утворень, місцезположення котрих та їх орієнтування не відповідають ділянкам найбільших абсолютних відміток покривлі водотривких червоно-бурих глин та напрямкам підземних комунікацій. Зіставлення напрямку БФЗ I (330 - 350 град.) та БФЗ II (40 - 60 град.) з морфологією куполів ґрунтових вод показує, що вони орієнтовані по нормалі до контурів куполу і являють собою високодинамічні природні водовідводячі дрени. Лесові породи характеризуються просторовою фільтраційною неоднорідністю та анізотропією, обумовленою як особливостями їх мікро- та макроструктури, так і наявністю систем високопроникних тектонічних мікро- та макротріщинних зон різного порядку.

Для понтичних вапняків характерні різкі коливання багатоводності, які пов'язані з різним ступенем їх трещинуватості та кавернозності. Аналіз даних режимних спостережень по водопритоку з понтичного горизонту в дренажну галерею протяжністю більш 5 км показує, що обводнення вапняків нерівномірне. Відстань між ділянками аномальних водопритоків складає 2500 м.

Водоносний горизонт меотичних відкладень пов'язаний в основному з прошарками та лінзами тонкозернистих пісків, рідше вапняків серед щільних заленувато-сірих глин. Води мають напор до 3-10 м і рідше до 30 м. Режим водоносного горизонту залежить від виникаючих в меотичних глинах деформацій, обумовлених зсувними та розломно-блоковими рухами.

3. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОРІД

У даній главі наведена характеристика складу та фізико-механічних властивостей меотичних глин, вапняків, червоно-бурих глин та лесовидних суглинків. Найбільш повно характеристика вказаних порід наведена у роботах А.М.Драннікова, М.Н.Гольдштейна, Е.П.Ємельянової, В.В.Жихович, А.М.Лужецького, І.П.Зелінського, О.Б.Шпикова та ін.

Для характеристики деформаційних властивостей комплексу порід, що беруть участь у зсувному процесі, в районі с.Григорівка проведені польові (пресіометричні) визначення їх модулів деформації. За результатами дворічних інструментальних спостережень за розвантаженням меотичних глин у підземних виробітках (м.Одеса) визначені модулі умовно-миттєвих (пружних) та тривалих деформацій розвантажень, коефіцієнти в'язкості.

Прибережні схили північно-західного узбережжя Чорного моря складені, в основному, глинистими ґрунтами (за виключенням шару понтичного вапняку), що сприяє розмиванню берегів та утворенню зсувів. Для цілей моделювання в розрізі порід схилів можна виділити три-чотири основні різновидності ґрунтів, які близькі за показниками міцнісних та деформаційних характеристик.

Значна неоднорідність властивостей ґрунтів, що впливає на характер розподілу напруг та стійкість схилів, обумовлена, в основному, двома інженерно-геологічними різновидностями ґрунтів:

1) шар понтичного вапняку, що відрізняється по міцності та деформаційним характеристикам від вміщуючих глинистих порід на один-два порядки (міцний шар);

2) шар лігнітизованих глин та дрібнозернистих пісків з напорними водами, міцнісні характеристики котрих майже на порядок нижчі (слабкі шари) від показників вміщуючих меотичних глин.

4. ФАКТОРИ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ

Чисельні фактори, що обумовлюють формування та розвиток зсувів, можуть бути об'єднані за класифікацією Г.С.Золотарьова до трьох груп: утворюючі середовище; змінюючі стан та властивості масивів порід; змінюючі величини та розподіл напруг у породах схилу. За результатами аналізу накопичених даних про розповсюдженість факторів та їх вплив на розвиток зсувів як основні (головні) можна виділити такі:

— структурно-геологічні особливості будови масивів порід (міцний шар, літогенетичні зони послаблення в ОДГ, тектонічно послаблені блокоформуючі зони);

— абразійни процеси, що призводять до постійного збільшення стрімкості схилу та пов'язаному з ним перерозподілу напруг у масиві порід;

— підземні води (наявність в товщі порід трьох водоносних горизонтів), що впливають на напружений стан масивів порід та їх фізико-маханічні властивості;

— будівельна та господарча діяльність людини.

Різноманітність типів зсувів (блокові та течії в лесових породах, видавлювання — що призводять до деформацій меотичних відкладів на глибину до 10–15 м нижче рівня моря) обумовлена структурно-геологічними особливостями будови схилів, міцнісними показниками порід та інтенсивністю абразійних та інших геологічних процесів.

Зсувні процеси на північно-західному узбережжі Чорного моря розповсюджені на тих ділянках, де в основі берегового уступу залягають неогенові глини. На ділянках заглиблення неогенових порід під рівень моря, зсувні процеси відсутні, хоч висота уступу часто сягає 25 м. Міцний шар (вапняк) заважає виникненню зсувів, сприяє утворенню стрімких схилів. Шари зниженої міцності, навпаки, сприяють виникненню зсувів, відіграючи роль підготовлених поверхонь зміщень.

Питання про вплив тектонічної розблокованості та сучасних разломно-блокових рухів на розвиток зсувів північно-західного узбережжя Чорного моря відноситься до одного із найменш вивчених. Встановлено, що морфометричні параметри зсувних блоків визначаються тектонічним кроком (2500, 1200, 500–600, 250–300, 100–150, 60–70 та 25–40 м) розподілу блокоформуючих зон різного порядку. Так, характерна ширина блоків зсувів видавлювання складає 250–500 м і в рідких випадках — 1000 та 2000 м, а крива розподілу ширини зсувів в лесовидних суглинках має три максимуми: 20–40 м, 60–80 м та 100–120 м.

Структурно-тектонічні особливості масивів порід визначають не тільки морфометричні параметри зсувів, але й, незалежно від стадії зсувного циклу і характеру деформацій порід ОДГ, напрямок зсувних зміщень. В районі ділянки «Порт» (рис.2) основою причальних споруд служать меотичні глини. Аналіз результатів високоточних геодезичних спостережень за плановими зміщеннями реперів показує, що ізолінії найбільших величин їх зміщень (40–50 мм) за весь період спостережень оковтують орієнтовані у північно-західному напрямку ділянки території (блокоформуючі зони), відстань між якими складає 400–500 м.

Сучасні «повільні» рухи геоблоків (підйоми, опускання, нахили та горизонтальні переміщення, що супроводжуються зміною знака деформацій), виявляються у межах зсувної зони. Аналіз результатів геодезичних спостережень за період 1954 — 1990 рр. показує, що вертикальні зміщення реперів, розташованих на плато на відстані не менш, як 30–40 м від його бровки, в більшості випадків перевищують погрішності вимірів і носять коливальний характер. Рухи одного знаку спостерігаються на протязі 3–5 років та охоплюють ділянки узбережжя довжиною 250–500 і рідше 1000 м.

Ці ж особливості вертикальних переміщень реперів зберігаються і після будови комплексу протизсувних та берегозахисних споруд, тобто мають тектонічну природу.

Основною причиною порушення стійкості схилів є морська абразія, котра призводить до збільшення їх стрімкості і тим самим утворює та безперервно відновлює умови для проявлення зсувних процесів. Абразія є прямим наслідком сучасної трансгресії, а остання — проявленням неотектонічних рухів.

Вплив підземних вод зводиться до зміни механічних властивостей порід та напруженого стану, причому більш значно у тих випадках, коли зона основних деформацій проходить у водонасичених породах (Е.П.Смелянова, Г.З.Золотарьов, І.П.Зелінський, Е.В.Калінін, В.А.Мироненко).

Інтенсивність зсувних зміщень в лесових породах прогресивно зростає разом з освоєнням територій, головним чином, за рахунок підйому рівня четвертичного водоносного горизонту, що спричиняється техногенним обводненням прибровочної частини плато, котра найбільш швидко реагує на зміну природних умов. За останні два десятиріччя у межах північно-західного узбережжя Чорного моря сталося більш 200 зсувів такого типу. За результатами кореляційного аналізу встановлено зворотний зв'язок між розмірами зсувних блоків та потужністю четвертичного водоносного горизонту поблизу прибровочної частини плато. Підйом рівня ґрунтових вод призводить до збільшення кількості зсувів в лесових породах, зміненню їх типів (блокові зміщення можуть переходити в зсуви-потоки) та морфометричних параметрів.

В місцях максимальної обводненості понтичного водоносного горизонту відмічається найбільша ширина зсувного схилу та рухливість зсувів. Відбувається «розтікання» ґрунтів зсувної «тераси» внаслідок надлишкового зволоження.

Зважаючи дія напорних вод меотичного горизонту впливає на загальну стійкість зсувного схилу в результаті зниження ефекту навантаження, особливо у нижній частині схилу. Абсолютні відмітки п'єзометричної поверхні цього горизонту в більшості випадків не збігаються з рівнем моря, що свідчить про відсутність постійного гідравлічного зв'язку з морськими водами і дозволяє зробити припущення про профільну та латеральну ізольованість більшості водовміщуючих лінз та прошарків.

У стадії підготовки основного зміщення зсуву видавлювання у гідродинамічному режимі меотичного водоносного горизонту можна виділити два періоди (рис.3): перший, характеризується незначними серед-

ньорічними змінами (5-10 см) величин напорів у зв'язку з відсутністю постійних зон розвантаження та перетоку підземних вод цього горизонту; на протязі другого періоду (3-5 років) здійснюється різке зниження гідростатичного тиску, що призводить до збільшення ефективних напруг та до зниження швидкості зсувних зміщень. Процес надходження води у породи по зонах тріщинуватості супроводжується поступовим збільшенням вологості, набряканням, переходом у пластичний стан та зниженням міцності глин. Час від початку зниження напорів до наступу основного зміщення визначається швидкістю падіння міцності глин в зоні формування поверхні сковзання. Після завершення стадії основного зміщення відбувається відновлення гідростатичного тиску в лінзі. Зв'язок гідродинамічного режиму цього водоносного горизонту із зміненнями НДС порід зсувних схилів визначає практичне значення режимних спостережень його п'єзометричних рівнів у зв'язку з прогнозом зсувів.

На кожній стадії зсувного циклу спрямованість та динаміка зсувних деформацій обумовлені багатьма факторами, серед яких важлива роль належить морфометричним параметрам схилу та структурно-тектонічним особливостям масивів порід, що перебувають під впливом сучасних розломно-блокових рухів.

Відмінною особливістю зсувів Одеського узбережжя є відхилення загального напрямку їх зміщення від нормалі до берегової лінії. За даними інструментальних спостережень встановлено, що вектори планових переміщень реперів у стадії основного зміщення у більшості випадків відхилені від нормалі до берегової лінії на величину 25-35 град. Після завершення стадії основного зміщення планова траєкторія переміщень кожного репера має, як правило, ступінчастий вигляд, а замикаючий її результуючий вектор відхилений від нормалі до берегової лінії і направлений вздовж або ортогонально до однієї із ближчих блокоформуючих зон. Напрямок зсувних зміщень, планові обриси бровки плато та тріщин заколу, системи зсувних тріщин на схилі обумовлені орієнтуванням систем блокоформуючих зон (тріщинно-розривних структур), існуючих як у межах не порушеної частини масиву, так і у зсунених породах.

Аналіз даних геодезичних спостережень свідчить про складну просторову кінематику та динаміку зсувних зміщень як на плато, так і у межах зсувного схилу (рис.4). Зміна азимутів із часом відбувається стрибкоподібно і складає, в основному, 45 та 90 град. Зміна напрямків зміщень у межах морфодинамічних зон відбувається синхронно, що обумовлено реакцією масива порід на сучасні розломно-блокові рухи.

ЧАСТИНА 2. МОДЕЛЮВАННЯ НДС ТА ПРОГНОЗ СТІЙКОСТІ ЗСУВНИХ СХИЛІВ

Теорія методів прогнозу зсувних процесів та стійкості схилів, питання їх класифікації та використання розглядалися в роботах Е.П.Ємельянової, Л.Б.Розовського, Г.С.Золоторьова, І.П.Зелінського, К.А.Гулакяна, В.В.Кюнтцеля, Г.П.Постоева, А.І.Шеко, М.М.Маслова, З.Г.Тер-Мартиросяна, І.О.Тихвинського, Г.І.Рудько, Є.А.Черкеза та ін.

Одним з основних методів прогнозування стійкості схилів та відкосів є вивчення НДС та його ролі у розвитку зсувних процесів. Для дослідження НДС гірських порід схилів використовуються польові методи, лабораторне та математичне моделювання. Зміст понять «оцінка» та «прогноз» стійкості відповідає виявленню можливості деформування схилу у спостережаємому стані і при очікуваних змінах інженерно-геологічної обстановки, наприклад, за результатами моделювання НДС та стійкості схилів.

5. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ НДС ТА СТІЙКОСТІ ЗСУВНИХ СХИЛІВ

Для того, щоб моделювання адекватно відображало процеси, що відбуваються на вивчаємому об'єкті, а дослідження мали пізнавальну та прогнозу цінність, воно повинно опиратися на теорію подібності та моделювання. Ця теорія визначає, яким чином у вивчаємих процесах виділити найбільш загальні риси, як на основі інженерно-геологічної схематизації створювати моделі, подібні об'єкту досліджень, як їх досліджувати і як переносити отримані в експерименті дані на натуру. Схематизований розріз повинен задовольняти технологічним можливостям методу моделювання та зберігати головні (гідро- та геомеханічні) елементи «конструкції» масиву.

Застосовані нами методи моделювання, у відповідності до характеру розв'язання поставлених задач, можна поділити на дві групи:

— моделювання стійкості порід зсувних схилів (дограничний стан, використання як розрахунковій — моделі лінійної теорії пружності) з допомогою методів фізичного (тензометричної сітки), аналогового (ЕГА) та математичного (МКЕ) моделювання;

→ моделювання умов руйнування порід зсувних схилів МЕМ.

Моделювання з допомогою еквівалентних матеріалів є одним з найбільш ефективних методів дослідження закономірностей розвитку зсувного процесу (Г.С.Золотарьов, І.П.Зелінський, К.А.Гулакян) та відкриває великі можливості для прогнозу зсувних деформацій та зміщень. Розв'язання вка-

заних задач поставило вимогу методичного та технологічного удосконалення методу у таких напрямках:

— підбір еквівалентних матеріалів, відповідаючих умовам вимог подібності (включаючи динамічне) за визначаючими параметрами звусного процесу;

— розробка методики відтворення на моделях з допомогою композитних матеріалів (полімін — розроблен в МДУ) силової дії напорних вод;

— розробка методики вимірювання деформацій та розрахунку напруг для кількісної оцінки змін коефіцієнту стійкості моделюемого схилу в процесі експерименту.

Поєднання методів моделювання дограничного стану та умов руйнування порід схилів є принципово важливим методичним положенням в дослідженнях стійкості схилів та прогнозу зсувів.

Метод оцінки стійкості схилів та відкосів, що базується на уявленнях теорії поля і полягає в зіставленні полів міцності порід та напруг і одержанні поля стійкості (І.П.Зелінський, Є.А.Черкез), дозволяє виділити у масиві зони з різним ступенем запасу стійкості, встановити розташування поверхні ймовірного зсувного зміщення, оцінити загальну стійкість схилу або відкосу, виявити можливі зони розвитку пластичних деформацій, оцінити кількісно ступінь впливу різних природних та антропогенних факторів на загальну стійкість схилу.

Для досягнення заданої точності чисельної оцінки загальної стійкості схилу необхідно з відповідною точністю визначити місцезнаходження потенційної поверхні сковзання (ППС) та діючі на ній компоненти напруг. Методика пошуку ППС, оцінки локальної та загальної стійкості за результатами моделювання МКЕ (В.І.Абрамович) заснована на використанні теорії графів, динамічного програмування та дозволяє одночасно врахувати різні механізми руйнування ґрунтів ППС.

6. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПРИРОДНИХ ТА ТЕХНОГЕННИХ ФАКТОРІВ РОЗВИТКУ ЗСУВІВ НА НДС, СТІЙКІСТЬ СХИЛІВ ТА МЕХАНІЗМ ЗСУВНОГО ЗМІЩЕННЯ

В результаті розв'язання поставлених задач з допомогою методів моделювання оцінювався вплив на НДС порід, стійкість схилів та механізм зсувного процесу таких факторів: 1) форми схилів (однорідна геологічна будова, однакова висота та різна стрімкість); 2) неоднорідності геологічної будови (жорсткого та слабкого шарів); 3) особливості геологічної структури схилів (висотного положення у розрізі жорстких та слабких шарів); 4) підземних вод з вільною поверхнею та напорних; 5) змін міцнісних та врахування

реологічних властивостей порід; 6) підрізки та пригрузки, зрізання та планування зсувних схилів. Вищевказані фактори для оцінки їх впливу і відповідного обґрунтування схем моделювання можуть бути підрозділені на дві групи: спричиняючі зміну напруженого стану порід схилів або міцності порід.

Як об'єкти досліджень обрані зсувні схили в районі I-ої (2-а штольня), II-ої (8-а ст.В.Фонтану) та III-ої (XII, XIII та XIV зсувні амфітеатри) черг будівництва протизсувних заходів м.Одеси, порта «Південний» (сел.Григорівка, кар'єр «Південний») та в межах північно-західного узбережжя Чорного моря (с.Рибаківка, с.Бугове, с.Фонтанка та ін.).

Проведення досліджень на однорідних моделях дозволило одержати уявлення про характер розподілу напруг, встановити основні зони концентрацій напруг, оцінити вплив зміння форми схилу за рахунок зрізання та планування на напружений стан та стійкість.

Встановлено вплив структурно-геологічних особливостей будови зсувних схилів на їх НДС та стійкість. Значна різниця у деформаційних характеристиках порід, що складають схил, призводить до того, що жорсткий шар виконує роль екрану для усіх видів напруг, концентруючи їх та заломлюючи ізолінії. Із зростанням модуля деформації жорсткого шару у ньому здійснюється збільшення значення наруг. Міцний шар (вапняк) перешкоджає виникненню зсувів та сприяє формуванню стрімких схилів. Методами моделювання НДС та стійкості досліджені випадки залягання жорсткого шару вапняку у верхній, середній та нижній частинах схилу.

В зсувних схилах з заляганням шару вапняку у верхній частині розрізу порушення стійкості залежить, в основному, від міцності меотичних відкладів, залягаючих нижче, так як у цих відкладах виникають більш високі дотичні напруження.

У випадку залягання шару вапняку в середній частині схилу величини напруження у ньому виявляються найбільш високими у порівнянні зі схилами іншої геологічної структури (коли вапняк залягає вгорі або в основі схилу). У місцях, що відрізняються підвищеною міцністю вапняку, формуються схили підвищеної стрімкості. Як правило, схили описаного типу мають висоту 40-45 м і відрізняються розвитком у їх межах зсувів видавлювання із захватом меотичних відкладень на глибину до 10-15 м нижче рівня моря.

У випадку залягання шару вапняку в основі схилу (на відмітках рівня моря), напруження у ньому зростають незначно і не спроможні деформувати вапняк. Гранична стрімкість схилу максимальна. У випадку розташування

покрівлі шару вапняку на 8-10 м нижче рівня моря (квазіоднорідна будова схилу) гранична стрімкість схилу значно зменшується.

Шари зниженої міцності, що залягають у товщі меотичних глин (ОДГ), сприяють виникненню зсувів, відіграючи роль підготовлених поверхонь зміщень. На відміну від жорсткого шару, у слабкому не відбувається утворення горизонтальних розтягуючих напружень, а формуються тільки горизонтальні стискаючі. Дотичні напруження представлені у слабкому шарі невеликими значеннями, причому відбувається їх подальше зменшення при зменшенні модуля деформації слабкого шару. Нами досліджено методами фізичного (МЕМ) та математичного (МКЕ) моделювання впливу глибини розташування слабкого шару у товщі меотичних глин на НДС та стійкість відкосів та зсувних схилів.

У моделях з еквівалентних матеріалів з неглибоким заляганням слабкого шару (0.1 висоти моделі) від основи відкосу встановлено його незначний вплив на характер деформування. Пластичні деформації (а при зсувному зміщенні та порушення суцільності) відбуваються, в основному, глибше підошви слабкого шару. В моделях, де слабкий шар розташований нижче по розрізу (0.2 висоти моделі), деформації нижче його підошви незначні і поверхня зміщення пристосована до цього шару. Якщо слабкий шар розташований на глибині 0.4 висоти моделі, то по ньому відбуваються незначні поступові зміщення вищележачого матеріалу. Пластичні та розривні деформації відбуваються вище в моделі.

Результати чисельного експерименту (МКЕ) свідчать, що «зона впливу» слабкого шару розташована на глибині 0.5 висоти моделі (рис.5). Коефіцієнт стійкості має мінімальне значення при розташуванні слабкого шару на глибині 0.25 висоти моделі. При збільшенні глибини розташування слабкого шару (більш половини висоти відкосу) напружений стан порід ОДГ на цій глибині наближається до НДС вагової напівплощини, при якому горизонтальні та вертикальні площадки є головними. Діючі на таких площадках дотичні напруження настільки малі, що навіть при низьких міцнісних характеристиках слабкого шару часткові значення коефіцієнту запасу виявляються значно більше одиниці. З результатів моделювання НДС стійкості зсувних схилів з допомогою комплексу методів (МЕМ, ЕГА та МКЕ) випливає, що слабкий шар в товщі меотичних відкладів на глибинах до 25 м нижче рівня моря є підготовленою поверхнею зсувного зміщення. Це обумовлює вибір місцезнаходження поверхні зміщення та розрахункових характеристик ґрунтів ОДГ при розв'язанні задач прогнозу стійкості зсувних схилів.

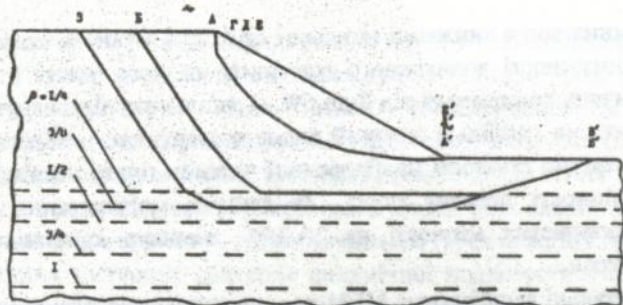


Рис. 5

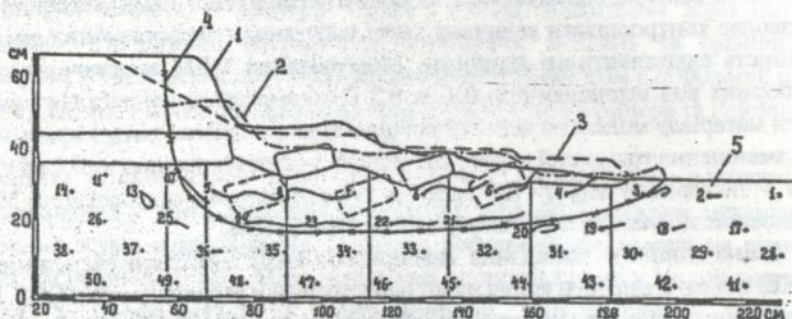


Рис. 6

Рис. 5. Результати оптимізаційного пошуку ППЗ.
Модель однорідного відкосу з різною глибиною (β) розташування слабкого шару:

- а) вихідний відкіс, $K_u^{AA'} = 1.80$;
- б) $\beta = 1/4$, $K_u^{BB'} = 1.40$;
- в) $\beta = 3/8$, $K_u^{VV'} = 1.63$;
- г) $\beta = 1/2$, $K_u^{GG'} = 1.80$;
- д) $\beta = 3/4$, $K_u^{DD'} = 1.80$;
- е) $\beta = 1$, $K_u^{EE'} = 1.80$.

Рис. 6. Кінематична схема зсуву в районі штольні No 2 за результатами моделювання MEM: 1 — профіль схилу до зсуву 1953 р.; 2 — профіль схилу після зсуву; 3 — профіль схилу після виконання ППЗ; 4 — поверхня зсувного зміщення; 5 — датчик, його номер та траєкторія руху.

Роль підземних вод в зниженні загальної стійкості зсувного схилу в залежності від потужності водоносного горизонту та його ухилу у межах зсувних накопичень коливається від 2 до 5%. В загальному балансі утримуючих та зсувних сил найбільш значний вплив четвертичного водоносного горизонту в зниженні стійкості прибровочної частини плато пов'язанні із зменшенням міцності лесових порід. За даними моделювання МЕМ, зниження характеристик міцності на 20-30% зменшує критичний кут відкосу на 8-10 град.

Експериментальні дослідження МЕМ по вивченню силового впливу напорного (меотичного) водоносного горизонту на НДС та стійкість зсувних схилів та відкосів виконувались на основі розробленої нами методики, що дозволяє контролювати величину тиску набухання (гідростатичний тиск) та міцність еквівалентного матеріалу. Моделювання МЕМ зважуючого тиску напорних вод інтенсивністю 0.1 та 0.2 Р (вертикальна напруга від власної ваги матеріалу моделі на відмітці покрівлі водовміщуючої лінзи) призводить до зменшення граничної стрімкості відкосу моделі відповідно на 3 та 6 град., що в чисельному виразу (зіставлення із результатами моделювання МКЕ) відповідає зниженню коефіцієнту стійкості на 5-10%.

Зміна глибини закладання «напорного» шару (чисельні експерименти МКЕ) показує, що його вплив найбільш істотний у верхній частині ОДГ. Моделювання стійкості натурального об'єкту (схил в районі XIV зсувного амфітеатру) МЕМ свідчить, що геомеханічний ефект зважуючої дії «напорного» шару найбільш значно виявляється у зонах розуцільнення ОДГ: під краєм консолі непорушеного шару вапняку, у середній частині схилу та в районі формування валу видавлювання. Із результатів моделювання НДС порід схилу МКЕ витікає, що послідовне введення у розрахункову схему слабкого та «напорного» шарів призводить до відповідного зниження коефіцієнту загальної стійкості до 1.47 та 1.05 (у базовому варіанті розрахунку $K_s = 2.19$). Детальний аналіз НДС показує, що в нижній частині схилу в районах підважуючого навантаження утворюється зона з низькими значеннями часткових коефіцієнтів стійкості.

Виконання зрізування та планування схилу призводить до зниження величин напружень та збільшенню коефіцієнта стійкості схилу. Оцінка ефективності ПЗЗ за результатами моделювання НДС порід стійкості схилів виконувалась по двох показниках: 1 — по коефіцієнтам стійкості; 2 — по швидкості переміщень реперів та марок в моделі з еквівалентних матеріалів (критерієм ефективності зрізання та планування схилів є зниження швидкості та поступове затухання зсувних деформацій).

Геостатичний режим деформування порід у часі відповідає опису задач стійкості схилів та відкосів, що перебувають у дограничному стані (методи ЕГА, тензометричної сітки, МКЕ). Моделювання MEM дозволяє досліджувати геодинамічний режим — рух (повзучість, пластичні течії, сковання) порід зсувних схилів, але вимагає, крім додержання загальних умов подібності (визначаючими показниками механічних властивостей матеріалу моделі служать зчеплення, кут внутрішнього тертя та міцність на стиснення), додержання часткових критеріїв динамічної подібності. В найбільшій мірі фізичній суті моделюемого зсувного процесу відповідають такі часткові критерії динамічної подібності: у стадії основного зміщення, коли переважає дія сил тяжіння, — критерій Фруда і у стадії підготовки зсуву (фази тимчасової стабілізації, спорадичних повторних зміщень та граничної рівноваги), коли переважають процеси повзучості (аналогом є повільний рух в'язкої рідини) — критерій Лагранжа (здобуток критеріїв Ейлера та Рейнольдса).

Модель зсувного схилу (район штольні No 2) виготовлялась з урахуванням виявлених у попередніх серіях експериментів особливостей механізму утворення зсувів видавлювання. Характер деформування моделі на різних етапах експерименту відповідає розвитку зсувного процесу на природних схилах, а морфологічні та морфометричні характеристики близько збігаються з врахуванням масштабу моделювання. У процесу експерименту повністю підтвердилася правильність інженерно-геологічної схематизації, вибору геомеханічної схеми моделювання та критеріїв подібності, що дозволяють за результатами моделювання MEM кількісно оцінити стійкість схилу, здійснити прогноз швидкості зсувних зміщень в натурних умовах.

Аналіз даних про переміщення датчиків, що закладаються в модель для вимірювання деформацій еквівалентного матеріалу та розрахунку напружень, дозволяє виділити три різновидності їх траєкторій (рис.6):

- лінійні (слабкохвилясті), близькі до круглоциліндричних, в основному у середній частині схилу та в районі урізу;

- хвилястих обрисів, близьких до S-подібних, які пов'язані із блоками з матеріалу-еквіваленту вапняку;

- замкнуті або націвзамкнуті лінії, що розташовані під непорушеним шаром еквівалентного вапняку матеріалом, а також під сформованою поверхнею зсувного зміщення. Вказаний вид вихороподібних деформацій при моделюванні одержано вперше.

Деформації рельєфу меотичних глин у межах зсувного схилу відрізняються відносно регулярним кроком (50-70-100 м) чергування

ділянок підйомів та опускань, різниця відміток між якими сягає 10-20 м. Складчастий рельєф поверхні глин (в лабораторних моделях — матеріал-еквівалент) обумовлений їх пластичними деформаціями, що виявляються як в період тривалої підготовки зсуву, так і в стадії основного зміщення.

Наші уявлення про механізм зсувних зміщень засновані на спостереженнях за деформаціями зсувних схилів до і після будови протизсувних споруд, даних лабораторного моделювання напруженого стану та стійкості схилів і зводиться до такого:

— меотичні глини (ОДГ) чутливо реагують на циклічний вплив ендогенних (сучасні знакозмінні тектонічні рухи) та екзогенних факторів, особливо у межах зсувного схилу. Це виявляється в локальних пластичних деформаціях, що відбуваються в блокоформуєчих зонах різного порядку, тектонічний крок яких відповідає змінам рельєфу поверхні меотичних глин в зсувному схилі;

— в ході розвитку зсувного процесу можна виділити етап (за 3-5 років до основного зміщення) гідромеханічної підготовки зсуву, на протязі якого відбувається зниження міцності меотичних глин та ріст зон пластичних деформацій в області формування поверхні зміщення, пов'язаної з послабленими зонами ОДГ, що, при практично незмінному рівні напруженого стану (стрімкість схилу близька до граничної), обумовлює час початку основного зміщення;

— на початковому етапі формування зсуву пластичне видавлювання меотичних глин відбувається не тільки в основі схилу, але також із-під краю консолі жорсткого шару, що призводить до його вигину, порушенню суцільності та розкриттю тріщин заколу за бровкою схилу. Переміщення зсувних нагромаджень відбувається по лінійним та хвилястого обрису траєкторіям і покрівля перем'ятих меотичних глин набуває хвилястого рельєфу, поверхня зсувного зміщення пов'язана із слабким шаром.

ЧАСТИНА 3. ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСУ ПРОТИЗСУВНИХ ЗАХОДІВ

Уперше інженерно-геологічний аналіз ефективності Одеських протизсувних споруд за досвідом експлуатації останніх на протязі 1964 — 1969 років поданий у працях І.П.Зелінського. Питання розробки методичних основ оцінки та прогнозу інженерно-геологічної ефективності комплексу ПЗЗ м.Одеси за результатами багаторічних (1964 — 1992 рр.) натурних спостережень та лабораторного моделювання розглянуті в публікаціях І.П.Зелінського, Є.А.Черкеза, Д.Д.Ібрагимзаде.

7. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД НА ДІЛЯНЦІ УЗБЕРЕЖЖЯ ЛАНЖЕРОН-АРКАДІЯ

Виходячи з природних умов Одеського узбережжя, ПЗЗ охоплювали:

- ліквідацію розмиву берегового уступу хвилеприбоєм шляхом спорудження штучних пляжів та пляжостримуючих споруд;
- зменшення величини дотичних напруг у породах зсувного схилу шляхом зрізання вертикальної частини берегової кручі, планування схилів та спорудження набережних — контрфорсів;
- перехоплення та організований відвід у море підземних вод четвртичного (за допомогою дренажних свердловин) та понтичного (влаштуванням досконалої дренажної галереї та водоскидних штолень) водоносних горизонтів;
- організацію поверхневого стоку, закріплення схилів деренуванням та деревонасадженням.

8. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ПЗЗ ЗА ДАНИМИ НАТУРНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

У теперішній час накопичено великий обсяг даних натурних спостережень (гідрологічних, гідрогеологічних, геодезичних та ін.) за ефективністю І черги протизсувних споруд Одеського узбережжя (ділянка Ланжерон-Аркадія довжиною 6,2 км), будівництво яких було розпочато у 1964 р. Оцінка інженерно-геологічної ефективності комплексу ПЗЗ виконана шляхом аналізу даних про деформації схилів після здійснення заходів. Технічний аспект ефективності окремих споруд комплексу розглянений на прикладі роботи дренажних споруд. Ефективність зрізання та планування схилу з точки зору підвищення його стійкості за результатами моделювання розглянута у главі 6.

Ефективність дренажу четвртичного водоносного горизонту та осушення лесових порід оцінювалася кількома методами.

1. Зіставленням сумарного річного дебіту свердловин з розрахунковим розвантаженням водоносного горизонту у межах дренажної зависі, одержаного по результатах моделювання за методом ЕГДА. По цьому показнику ефективність роботи дренажної зависі з часом змінюється від 19,9% (1966 р.) до 22,7% (1986 р.).

2. За результатами кореляційного аналізу елементів гідродинамічного режиму (рівень — дебіт свдловин) четвртичного водоносного горизонту. Позитивний кореляційний зв'язок між досліджуваними елементами

описується лінійними рівняннями, аналіз коефіцієнтів яких дозволяє дати відносну оцінку водопровідності блокоформуючих зон різного порядку, що мають місце у лесових породах, обґрунтувати вибір водоупору та визначити гідродинамічну ефективність роботи дренажних свердловин. Остання становить 20–25% (3–4 м) усієї потужності четвертичного водоносного горизонту у 1964 р., що свідчить про невелику технічну ефективність дренажної завіси.

Ефективність підземного дренажу понтичного водоносного горизонту галереями та штольнями наближається до 100%.

Обводненість зсувних нагромаджень у межах спланованих схилів залишається високою. Розуцільнена зона у районі поверхні зсувного зміщення, яка є природним колектором, погіршує стан стійкості схилів.

Найбільш об'єктивні критерії, що інтегрально враховують як сумарний ефект роботи всього комплексу ПЗЗ, так і зміну природних умов, є швидкість, величини зміщень і деформацій порід схилів. Основні положення запропонованої методики оцінки ефективності комплексу ПЗЗ полягають у встановленні допустимих величин деформацій та їх швидкостей за даними геодезичних спостережень та зіставленні швидкостей деформування корінного масиву та зсувних нагромаджень у часі.

Підземна реперна сітка закладалася у елементи кріплення водовідводних штолень, котрі пройдені у товщі зсувних нагромаджень і закінчуються у породах, незайманих зсувними рухами. Штольня являє собою гнучку, субгоризонтальну споруду, яка чутливо відбиває характер деформацій, що відбуваються у масиві. Аналіз результатів геодезичних спостережень у штальнях показав, що розподіл вздовж них величин і знаку вертикальних зміщень реперів, зон стискання та розтягування відзначається просторовою періодичністю (60 – 120 м), яка обумовлена блоковим характером будови зсувних схилів і корінного масиву (рис.7). Поздовжні деформації та вертикальні зміщення реперів в межах зсувного схилу проявляються синхронно з деформаціями корінного масиву, але перевищують їх у 2–4 рази. Граничні величини відносних повздожніх деформацій розтягування, що відповідають виявленням порушень кріплень штольні (номера 2, 4), або її руйнування зсувом (штольня No 6), перебувають у діапазоні $10 \cdot 10^{-3}$ – $30 \cdot 10^{-3}$. Цей критерій має практичне значення для оцінки та прогнозу інженерно-геологічної ефективності комплексу ПЗЗ.

Досвід багаторічних геодезичних спостережень та зіставлення їх з даними інклінометричних вимірів нахилів технологічних стовбурів показує, що усі встановлені в штольні репери, у тому числі й ті, які в найбільшій мірі

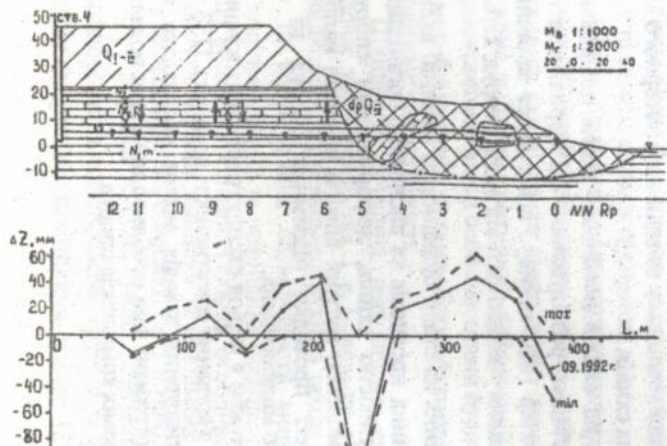


Рис. 7

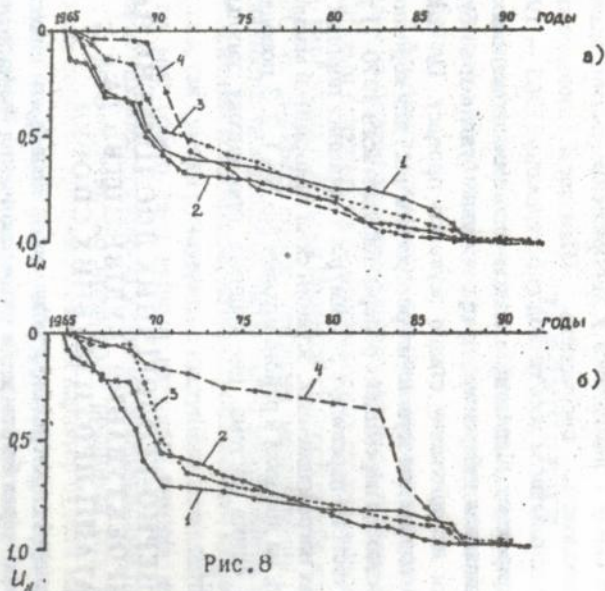


Рис. 8

Рис. 7. Вертикальні рухи реперів у штольні No 3 за період спостережень.

Рис. 8. Середні по ділянках штольні нормовані величини подовжних рухів реперів: а) зсувний схил; б) корінний масив; 1, 2, 3, 4 — номери штолень.

віддалені від зсувного схилу і знаходяться у непорушеній частині масиву порід, зазнають повздожних переміщень. Швидкості повздожних переміщень реперів у штольнях за весь період спостережень (1965 — 1992 рр.) змінювались у широкому діапазоні, з максимальними значеннями у 1969 — 1970 рр. на ділянках узбережжя, де протизсувне будівництво було розпочато в найбільш несприятливу стадію зсувного процесу. Ця закономірність встановлюється як для зсувних нагромаджень, так і для корінного масиву. Зниження швидкості переміщень реперів відбувається з 1970-71 рр. і у стадії сталої повзучості не перевищує 5-7 мм/рік у корінних породах та 15-20 мм/рік в зсувних нагромадженнях. Зсувний схил та корінний масив, з точки зору їх стійкості, на ділянках в районі штолен No No 1, 2, 3 поводять себе як кінематично єдина система, що свідчить про високу загальну ефективність ПЗЗ (рис.8).

9. ЗАДАЧІ ІНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ НА СТАДІЯХ ПРОЕКТУВАННЯ, БУДІВНИЦТВА ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРОТИЗСУВНИХ СПОРУД

Багаторічні стаціонарні спостереження дозволяють перевірити дієвість прийнятих заходів тільки через багато років після закінчення будівництва, досвід якого може виявитися і негативним. Тому, для вирішення поставлених питань доцільно використання комплексу методів лабораторного моделювання НДС та стійкості зсувних схилів.

Дослідження НДС масивів порід схилів необхідно вести послідовно, починаючи їх на самих ранніх стадіях розвідування. На першому етапі повинні вивчатися загальний характер НДС масиву і визначатися величини та закономірності розподілу напружень у залежності від видів споруд, характеру та об'єму ПЗЗ.

Інженерно-геологічні дослідження на стадії будівництва повинні включати перевірку інженерно-геологічних прогнозів та висновків, організацію стаціонарних спостережень за стійкістю схилів, деформаціями споруд, ефективністю окремих заходів комплексу, натурні виміри величин напружень в породах схилів в процесі проходки підземних споруд та їх зіставлення з даними лабораторного моделювання.

Задачі інженерно-геологічної служби в період експлуатації протизсувних споруд повинні бути направлені на з'ясування ефективності комплексу ПЗЗ та окремих споруд. Здійснення протизсувних заходів можна розглядати як своєрідний експеримент в природі і отримані дані особливо цінні для подальшого проектування та будівництва нових комплексів споруд.

ЗАКЛЮЧЕННЯ

Виконані дослідження дозволяють таким чином сформулювати основні висновки, які визначають теоретичне та практичне значення дисертаційної роботи.

1. Критично проаналізовано розвиток поглядів та сучасний стан теорії та практики інженерно-геологічного вивчення та прогнозу зсувів — одного з найбільш складних та багатофакторних геодинамічних процесів. Показано, що вирішення проблеми прогнозу стійкості схилів неможливо без вивчення НДС та стійкості схилів методами моделювання. У зв'язку з великою складністю та відповідальністю задачі моделювання повинно виконуватися методичним комплексом, дозволяючим вивчати як дограничний НДС порід схилів, так і умови руйнування з наступним зіставленням одержаних результатів між собою та з даними натурних вимірів величин напружень та режимних спостережень за зсувними деформаціями та зміщеннями.

2. Встановлено, що інтенсивно розвинута сіть тектонічних порушень різних порядків утворює блоковий характер будови масивів порід. Визначені основні параметри блокової структури території та узбережжя м.Одеси (системи тріщин в понтичних вапняках, тектонічний крок та напрямок блокоформуючих зон різного порядку, що виражені у глинистих породах). Система блокоформуючих зон та їх тектонічна активність визначають структуру та режим потоків підземних вод.

Морфометричні параметри характерних типів зсувів (розміри зсувних блоків, обриси бровки плато в плані, питома щільність і напрямок тріщин на зсувному схилі) та їх кінематичні характеристики (напрямок, швидкість зсувних зміщень і величини деформацій) у значній мірі обумовлені структурно-тектонічними особливостями будови масивів порід та сучасними розломно-блоковими рухами. Блокоформуючим зонам властива більш висока геодинамічна активність.

Швидкості сучасних тектонічних рухів розподілені нерівномірно як вздовж узбережжя, так і в напрямку від берега до моря; диференціація швидкостей вертикальних рухів, а також чергування зон сучасного стиснення та розтягування обумовлюють виникнення в берегових схилах зон разуцілювання та розривних порушень і тим самим утворюється передумова зниження стійкості схилів, особливо помітна і виявлена у вигляді незагущаючих зсувних зміщень та повільних деформацій повзучості порід ОДГ як у межах корінного масиву, так і зсувного схилу.

3. В породах зсувних схилів залягають два шари, що визначають значну неоднорідність властивостей ґрунтів та значно впливають на характер розподілу напружень та стійкість схилів: 1) шар понтичного вапняку, міцність

якого та висотне розташування відносно схилу визначають тип зсуву; 2) шар лігнітизованих глин та дрібнозернистих пісків з напорними водами.

4. Основною причиною порушення стійкості схилів є морська абразія, швидкість якої для різних ділянок узбережжя нерівномірна і в значній мірі залежить від літологічного складу та стану порід відмілини та берегового уступу.

5. Вплив підземних вод (нааявність у товщі порід трьох водоносних горизонтів) на порушення стійкості зсувних схилів пов'язаний із змінюванням напруженого стану і міцності порід.

Інтенсивність зсувних зміщень в лесових породах прогресивно зростає разом з освоєнням території, головним чином, за рахунок техногенного обводнення прирвовочної частини плато. Підйом рівня ґрунтових вод призводить до зміни типів зсувів та їх морфометричних параметрів.

Вплив меотичного напорного водоносного горизонту на розвиток зсувів видавлювання виявляється в кількох аспектах: перший — гідростатичний тиск в лінзах і прошарках пісків на фоні зростання дотичних напружень під час збільшення стрімкості схилу обумовлює розкриття мікротріщин в меотичних глинах, зниження напорів і зростання ефективних напружень, що за 3-5 років до стадії основного зміщення призводить до зниження швидкості зсувних зміщень; другий — за рахунок дренажу води по тріщинах відбувається зростання вологості та зниження міцності меотичних глин як у зонах тріщинуватості, так і на контакт з водовміщуючими лінзами. Період часу до наступу основного зміщення визначається швидкістю зниження міцності меотичних глин у зоні формування поверхні сковзання глибокого зсуву видавлювання.

6. Розроблена методика моделювання МЕМ, що дозволяє врахувати вплив різних факторів, кількісно оцінити стійкість зсувного схилу на різних етапах експерименту, здійснити прогноз величин та швидкості зсувних зміщень.

7. Застосування комплексу методів моделювання дозволило встановити закономірності розподілу напружень у масиві порід схилів та кількісно оцінити їх стійкість в залежності від морфометричних характеристик схилів, неоднорідності будови, умов залягання та властивостей порід, гідрогеологічних умов і зовнішнього впливу.

Чимала різниця у деформаційних характеристиках порід, що складають схил, призводить до того, що жорсткий шар виконує роль екрану для всіх видів напружень, концентруючи та заломлюючи ізолінії. Міцний шар (вапняк) перешкоджає виникненню зсувів і сприяє формуванню стрімких схилів.

Шари зниженої міцності, що залягають у товщі меотичних глин (ОДГ), сприяють виникненню зсувів, відіграючи роль підготовлених поверхонь зміщення. Коефіцієнт стійкості має мінімальне значення у разі розташування слабкого шару на глибині 0.25 висоти моделі (схилу, відкосу).

Врахування підважуючого тиску напорних вод веде до зменшення граничної стрімкості відкосу моделі. Вплив глибини залягання «напорного» шару найбільш істотний у верхній частині ОДГ. Геомеханічний ефект підважуючої дії «напорного» шару найістотніше виявляється у зонах розушільнення ОДГ: під краєм консолі непорушеного шару вап'яку, в середній частині схилу і у районі формування валу видавлювання. В нижній частині схилу у районах підважуючого навантаження утворюється зона з низькими значеннями часткових коефіцієнтів стійкості.

Зіставлення величин та характеру розподілу напружень у породах зсувних схилів перед і після здійснення ПЗЗ дозволило виділити характерні зони концентрації напружень, які виявляються у всіх моделях і мають фіксований характер. Зрізання та планування схилу веде до зниження величин горизонтальних і дотичних напружень у цих зонах та до збільшення коефіцієнту стійкості схилу.

8. Уявлення про механізм зсувних зміщень є визначальним для розробки стратегії і тактики протизсувної боротьби. Складчастий рельєф поверхні глин обумовлено їхніми пластичними деформаціями, що виявляються як в період тривалої підготовки зсуву, так і на стадії основного зміщення. Меотичні глини (ОДГ) чутливо реагують на циклічний вплив ендегенних та екзогенних факторів, що виявляється в локальних пластичних деформаціях, які відбуваються у блокоформуючих зонах різного порядку. У перебігу розвитку зсувного процесу виділяється етап гідрогеомеханічної підготовки зсуву, тривалість якого визначає час наступу стадії основного зміщення. Переміщення зсувних блоків відбувається вздовж лінійних та хвилястого обрису траєкторій і покрівля перемятих меотичних глин набуває хвилястого рельєфу.

9. На основі розробленої методики виконано аналіз інженерно-геологічної ефективності як окремих видів протизсувних заходів, так і комплексу в цілому.

Нині ефективність роботи дренажних свердловин не перевищує 25%. Понтичний водоносний горизонт практично повністю дрениється галереєю.

Комплекс ПЗЗ забезпечує тривалу стійкість схилів, деформації яких у багаторічному розрізі мають затухаючий характер. Зсувний схил та корінний масив, з точки зору їх стійкості, поводяться як кінематично єдина система, що свідчить про високу ефективність комплексу ПЗЗ. Локальні порушення стійкості зсувних схилів обумовлені недостатньою ефективністю окремих протизсувних заходів.

Основний зміст дисертації викладено в наступних опублікованих роботах:

1. Моделирование зсувних схилів на різних стадіях їх досліджень. // «Знання», УРСР, К., 1974, с.14-15.

2. Исследования оползней северо-западного побережья Черного моря методами лабораторного моделирования. (соавт. И.П.Зелинский). // Тез. докл. Всесоюзн. совещ. по методике и техн. результ. морских инж.-геол. и берегов исслед. Изд-во ОГУ, Одесса, 1973, с.29-31.

3. Прогноз стійкості зсувних схилів на ділянці третьої черги будівництва протизсувних споруд у м.Одесі. (співав. І.П.Зелінський). // Сб.: «Геологія узбережжя і дна Чорного та Азовського морів у межах УРСР. Вид-во КГУ, Київ, 1974, с.77-82.

4. Влияние особенностей геологического строения на распределение напряжений в породах оползневых склонов северо-западной части Черного моря. (соавт. И.П.Зелинский). // Сб.: «Оползни и борьба с ними». Изд-во «Штиинца», Кишинев, 1974, с. 33-36.

5. Изучение величин естественных напряжений и деформационных свойств пород методами частичной разгрузки и прессиометрии. (соавт. И.П.Зелинский, О.Л.Бирик, А.В.Гузенко). // Изд-во «Знание», УССР, Киев, 1977, с.18-19.

6. Моделирование напряженного состояния и устойчивости склонов. (соавт. И.П.Зелинский, А.В.Гузенко, О.Л.Бирик). // Тр.ІІІ Междунар. конгресса по инж. геол., Мадрид, 1978, с. 316-318.

7. Опыт оценки напряженного состояния массивов пород полевыми и лабораторными методами. (соавт. И.П.Зелинский, А.В.Гузенко, О.Л.Бирик). // Научн.-техн. реферет. сб. Сер. 15, вып. 4, Изд-во ПНИИИС Госстроя СССР, М., 1979, с. 1-3.

8. О влиянии пригрузок и подрезок на устойчивость откосов в портовом строительстве. (соавт. И.П.Зелинский, О.Л.Бирик, А.В.Гузенко). // Научн.-техн. реферат. сб. Сер. 15, вып. 4. Изд-во ПНИИИС Госстроя СССР, М., 1979, с. 18-19.

9. Прогнозирование устойчивой формы оползневых склонов Одесского побережья. // Сб.: «Проблемы географ. прогноза». Изд-во МГУ, М., 1979, с. 53-62.

10. Влияние крутизны и геологической неоднородности на распределение напряжений в откосах. (соавт. И.П.Зелинский, О.Л.Бирик, А.В.Гузенко). // Тр. Союздорнии «Оценка инж.-геол. условий и расчет устойч. склонов и откосов. М., 1980, с.82-85.

11. Моделирование напряженного состояния и устойчивости откосов с учетом силового воздействия подземных вод. (соавт. В.И.Абрамович, П.Э.Роот, О.Л.Бибиц, В.М.Рынас). // Сб.: «Оползни Молдавии и охрана окружающей среды». Кишинев, 1983, с. 81-83.

12. Оценка эффективности противооползневых мероприятий по результатам моделирования. (соавт. А.Е.Вальчук, Е.Н.Матвеева). // Сб.: «Оползни Молдавии и охрана окружающей среды». Кишинев, 1983, с. 141-143.

13. Инженерно-геологические прогнозы и моделирование. (соавт. И.П.Зелинский, А.В.Гузенко). // Изд-во ОГУ, Одесса, 1983, 126 с.

14. Моделирование напряженного состояния и устойчивости склонов с учетом влияния подземных вод. (соавт. И.П.Зелинский, В.И.Абрамович, В.М.Рынас). // Тез. докл. V Всесоюзн. конф. «Пробл. инж. геол. в связи с пром. и гражд. стр-вом и разраб. пол. ископ.» т. 3, Свердловск, 1984, с. 153-156.

15. Моделирование напряженного состояния и устойчивости склонов методом конечных элементов. (соавт. И.П.Зелинский, В.М.Рынас, В.И.Абрамович). // В сб.: XXVII Междунац. геол. конгресс. М., 4-14 авг. 1984. Тез. докл. Т. 8. V секц. Изд-во «Наука», М., 1984, с.190-191.

16. Учет реологических свойств грунтов при изучении напряженного состояния склонов полевыми методами. (соавт. И.П.Зелинский, А.В.Гузенко). // В кн.: «Современное состояние инж.-геол. изученности и совершен. методов исслед. экзоген. процессов на террит. Украины». Тез. докл., Киев, 1985, с.10-11.

17. Моделирование влияния силовых воздействий и изменений свойств грунтов на устойчивость оползневых склонов. (соавт. В.И.Абрамович, В.М.Рынас). // В кн.: «Современное состояние инж.-геол. изученности и совершен. методов исслед. экзоген. процессов на террит. Украины». Тез. докл., Киев, 1985, с.38-39.

18. Оценка роли дренажных сооружений в повышении устойчивости оползневых склонов. (соавт. Д.Д.Ибрагимзаде). // В кн.: «Современное состояние инж.-геол. изученности и совершен. методов исслед. экзоген. процессов на террит. Украины». Тез. докл., Киев, 1985, с. 41-42.

19. Оценка влияния подземных вод на устойчивость склонов с помощью моделирования. (соавт. И.П.Зелинский, В.М.Рынас). // В кн.: «Подземные воды и эволюция литосферы». Тез. докл. Всесоюзн. конф., т.2. Изд-во «Наука», М., 1985, с.465-466.

20. Инженерно-геологический анализ эффективности противооползневых мероприятий г.Одессы и проблемы охраны геологической среды побережья. (соавт. И.П.Зелинский, Б.А.Корженевский, Н.С.Цокало, Д.Д.Ибрагимзаде). // Препринт ИГН АН УССР, Киев, 1987, 53 с.

21. Режимные и стационарные наблюдения для оценки эффективности противооползневых мероприятий г.Одессы. (соавт. И.П.Зелинский, О.Л.Бибик, Д.Д.Ибрагимзаде). // В кн.: «Проблемы инженерной географии». Тез. докл. Всесоюзн. конф., М., 1987, с.230-232.

22. Оценка и прогноз эффективности противооползневых мероприятий по результатам лабораторных и натуральных исследований для целей рационального управления геологической средой. (соавт. И.П.Зелинский, А.В.Гузенко, В.М.Рынас, Д.Д.Ибрагимзаде). // В кн.: «Соврем. пробл. инж. геол. и гидрогеол. территор. городов и гор. англомер.» Тез. докл. III Всесоюзн. семинара. Изд-во «Наука», М., 1987., с.20-22.

23. Изучение напряженного состояния и устойчивости оползневых склонов Одесского побережья методом эквивалентных материалов. (соавт. И.П.Зелинский, Д.Д.Ибрагимзаде). // Тез. докл. Всесоюзн. съезда инж. геол., гидрогеол., геокриол. Часть 2. Киев, 1988, с.59-61.

24. Практикум по механике грунтов и основаниям сооружений (расчеты на ЭВМ и моделирование). (соавт. И.П.Зелинский, Д.Д.Ибрагимзаде, М.А.Крылова, В.Ю.Пангаев). Киев, 1988, 60 с.

25. Морфодинамический критерий оценки эффективности противооползневых мероприятий. (соавт. И.П.Зелинский, Д.Д.Ибрагимзаде, Л.Н.Шатохина). // Тез. докл. Всесоюзн. конф. (II Шукинские чтения) экзог. морфогенез в разл. типах природной среды. М., 1990, с.208-209.

26. Анализ морфометрических параметров оползней для оценки естественно-техногенных условий их развития. (соавт. В.Н.Гутковский, А.И.Караван). // Тез. докл. Всесоюзн. конф. (II Шукинские чтения) экзог. морфогенез в разл. типах природной среды. М., 1990, с.209-210.

27. Инженерно-геологические условия северо-западного побережья Черного моря. (соавт. И.П.Зелинский, Б.А.Корженевский, Л.Н.Шатохина, А.В.Гузенко). // Препринт ИГН АН УССР, Киев, 1989, 50 с.

28. Природные условия северо-западного побережья Черного моря и прилегающей части шельфа в связи с оценкой их роли в оползнеобразовании. (соавт. И.П.Зелинский, Л.Н.Шатохина, Б.А.Корженевский, А.В.Гузенко). // Препринт ИГН АН УССР, Киев, 1989, 50 с.

29. Изучение геодинамических явлений на территории г.Одессы с помощью комплекса геофизических и инженерно-геологических режимных наблюдений. (соавт. М.Н.Пилипенко, В.Н.Гутковский, В.В.Перевалов). // Геофизические исслед. в гидрогеол. и инж.геол. Тр. ГИДРОИНГЕО, Изд-во САИГИМС, Ташкент, 1991, с.137-142.

30. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз. (соавт. И.П.Зелинский, Б.А.Корженевский, Л.Н.Шатохина, Д.Д.Ибрагимзаде.). // Изд-во «Наукова думка», Киев, 1993, 228 с.

458015

AB 30.309

AB 30.309