

УДК 624.131

Є. А. Черкез¹, д-р геол.-мін., проф., **О. В. Драгомирецька¹**, асп.,
Г. М. Біч², канд. техн. наук, ст. наук, співроб.

¹ Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова, кафедра інженерної геології та гідрогеології, Шампанський пров., 2, Одеса, 65058, Україна

² Чорноморндріпроект, Сектор дослідження підвалин, пр. Шевченка, 12, Одеса, 65058, Україна

ГІДРОГЕОМЕХАНІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ЗСУВІВ ВИПОРУ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО УЗБЕРЕЖЖЯ ЧОРНОГО МОРЯ

Виявлено механізм формування зон розущільнення в основному деформуємому горизонті зсувів випору. Описано ефект зниження напорів меотичного водоносного горизонту, який приводить до зменшення швидкостей зсувних деформацій, що передують стадії основного зміщення. Доведена практична доцільність режимних спостережень за п'єзометричними рівнями меотичного водоносного горизонту в зв'язку з прогнозом зсувів

Ключові слова: зсуви випору, моделювання, ділатансія, силовий вплив підземних вод

Вступ

Північно-західне узбережжя Чорного моря відноситься до регіонів України, де зсувні процеси відрізняються великою інтенсивністю і щорічно завдають значний екологічний та економічний збиток. Вивчення і прогноз зсувів, оцінка стійкості берегових схилів є значною частиною діючої системи інженерного захисту цієї території і однією з актуальних проблем попередження надзвичайних ситуацій. Тому встановлення закономірностей формування зсувів та оцінка ролі факторів, що впливають на розвиток зсувних процесів, є найважливішою складовою частиною їхнього прогнозу і раціонального вибору протизсувних заходів.

Об'єкт дослідження — меотичні відклади, які утворюють основний деформуємий горизонт зсувів випору, дуже неоднорідний за складом і властивостями. Їхньому вивченню, оцінці ролі у формуванні і розвитку зсувів, аналізу фізико-механічних властивостей присвячено черга публікацій [1-3]. Найбільш значну неоднорідність фізико-механічних властивостей цих відкладів створюють прошарки лігнітизованих глин і дрібнозернистих пісків з напірними водами, міцностні характеристики яких майже на порядок нижче показників вміщующих меотичних глин і суглинків [1]. До послаблених прошарків найчастіше приурочена зсувна поверхня зсувів випору. Звичайна кількість прошарків у межах ділянки не перевищує 3-4; по глибині вони

розподілені нерівномірно і розташовані, в основному, в інтервалі від -8 до — 18 м. Водонесний горизонт у лінзах і прошарках дрібнозернистих глинистих меотичних пісків зустрічається від 1 до 27 м нижче рівня моря. Підземні води горизонту мають напір до 20-30 м, їх п'єзометричні рівні встановлюються на позначках, що перевищують рівень моря на 2-10 м. Абсолютні позначки п'єзометричної поверхні цього горизонту в більшості випадків не збігаються з рівнем моря, що свідчить про відсутність постійного гідралічного зв'язку з морськими водами і дозволяє зробити припущення про профільну і латеральну ізолюваність більшості водомістких лінз і прошарків. Цей водонесний горизонт слабо вивчено, особливо його силовий вплив на напружено-деформований стан порід і стійкість схилів. Зважаючи дія напірних вод цього горизонту впливає на загальну стійкість зсувного схилу в результаті зниження ефекту навантаження, особливо в нижній частині схилу.

Вплив підземних вод на зсувні процеси і стійкість схилів зводиться до зміни як фізико-механічних властивостей порід, так і напруженого стану. Тому метою роботи є вивчення і оцінка особливостей основного деформуємого горизонту як єдиної гідрогеомеханічної системи, де механічні і фільтраційні процеси взаємозалежні.

Фактичний матеріал та методи дослідження

Дослідження включали оцінку силового впливу меотичного водонесного горизонту методами лабораторного фізичного і математичного моделювання, аналіз змін фізико-механічних властивостей меотичних глин за результатами визначень опору ґрунтів зрушенню в лабораторних умовах і встановлення зв'язку гідродинамічного режиму меотичного водонесного горизонту зі зсувними зміщеннями.

Фізичне моделювання силового впливу напірного меотичного водонесного горизонту на напружено-деформований стан і стійкість зсувних схилів та укосів здійснювалося методом еквівалентних матеріалів. Експериментальні дослідження виконувалися на основі методики [2], що дозволяє відтворювати силовий вплив підземних вод у моделі за допомогою еквівалентних (композитних) матеріалів (гранульований желатин і полімін), що при замочуванні водою набухають, збільшуються в обсязі і розвивають тиск набрякання. Для відтворення необхідного тиску, відповідно до вимог умов подібності, змінювалося співвідношення компонентів (набрякаючий матеріал-вода).

Для моделювання був обраний зсувний схил у районі XIV зсувного амфітеатру. У геологічній будові цієї ділянки від поверхні плато до глибини 60 м беруть участь відклади неогенового і четвертинного віку. Меотичні відклади, розкритою потужністю 22 м, представлені сіро-зеленими, твердими і напівтвердими глинами з прошарками піску. На глибині 58,8 м свердловинами зустрінуто шар піску потужністю 0,8 м, що містить підземні води з величиною напору над покрівлею шару до 18 м.

Над пісками в глинах розташований прошарок лігнітизованих порід. Вище за розрізом залягають понтинні вапняки, червоно-бурі глини і лесовидні суглинки загальною потужністю 38 м.

Відсутність гідралічного зв'язку підземних вод меотичного напірного горизонту з морськими водами дозволяє при гідрогеомеханічній схематизації масиву порід замінити дію об'ємних сил контурними, які прикладені до границь лінзи чи прошарка. Це істотно спрощує методику проведення фізичних і чисельних експериментів по кількісній оцінці впливу гідростатичних сил на напружено-деформований стан порід і стійкість схилу, який моделюється. У процесі моделювання методом еквівалентних матеріалів силовий вплив напірних вод відтворювався за допомогою композитного матеріалу, що набухає. Його тиск можна розглядати як дію контурних сил, що діють на покрівлю і підшву шару та відповідають вимогам умов подібності.

Результати досліджень

Експеримент на моделі проводився в три етапи. На першому етапі не враховувалися додатково діючі фактори (силовий вплив напірних вод, абразійне підрізування схилу, зниження характеристик міцності еквівалентних матеріалів та ін.), а проводилися тільки спостереження за деформаціями ущільнення шарів моделі.

На другому етапі шар поліміна був насичений водою. Найбільш значне набрякання поліміна, і відповідно розущільнення матеріалу-еквіваленту, який залягає вище, відбулося в приурізівій і середній частинах схилу, а також на ділянці примикання зсувних нагромаджень до корінного масиву порід. У приурізівій частині сформувався вал випору. В межах схилу відбулися горизонтальні зміщення, що були зафіксовані датчиками-деформометрами. По тріщинах, що утворилися в зсувних нагромадженнях, встановлено розтягання в середній частині схилу. За бровкою схилу на плато почали формуватися нові тріщини заколу.

Таким чином, у результаті відтворення силового впливу напірного водоносного горизонту відбулося формування зон розущільнення і активізація горизонтальних зміщень еквівалентних матеріалів моделі, що розташовані вище шару поліміна. У природних умовах на цій стадії підготовки зсуву можливе зниження напорів у результаті розвантаження водоносного горизонту по зонах розущільнення (перетоку).

На третьому етапі було виконано підрізування основи схилу моделі, на величину відповідну абразії натурного схилу за 16 років (період від початку спостережень до початку стадії основного зміщення зсуву). У результаті підрізування швидкості деформування окремих елементів моделі істотно збільшилися, остаточно сформувалася поверхня зсуву і зсувні нагромадження перемістилися уздовж її (6 м у перерахуванні на натуру). За бровкою схилу (на відстані 12 м у перерахуванні на натуру) утворилася нова тріщина заколу. Наприкінці цього етапу відбулася практично повна стабілізація моделі.

Морфологічні і морфометричні характеристики зсуву, який відтворено в моделі, і натурного аналога добре зіставляються з урахуванням масштабу моделювання.

За результатами чисельного моделювання цього схилу методом кінцевих елементів впливає, що послідовне введення в розрахункову схему "напірного" шару приводить до зниження коефіцієнта стійкості на 25%.

Вивчення фізико-механічних властивостей меотичних відкладень здійснювалося методом неконсолідованого недренованого зрізу. При цьому вивчалися зразки глин (74 зразка з 28 свердловин, відібрані в районі причалу № 8 морського торговельного порту Південний Одеської області) непорушеної структури висотою 25,0 мм, діаметром 71,4 мм. Випробування проводились на приладі Маслово-Лурье в модифікації Гідропроекту (ГГП-30) при нормальному навантаженні від 0,05 МПа до 0,4 МПа.

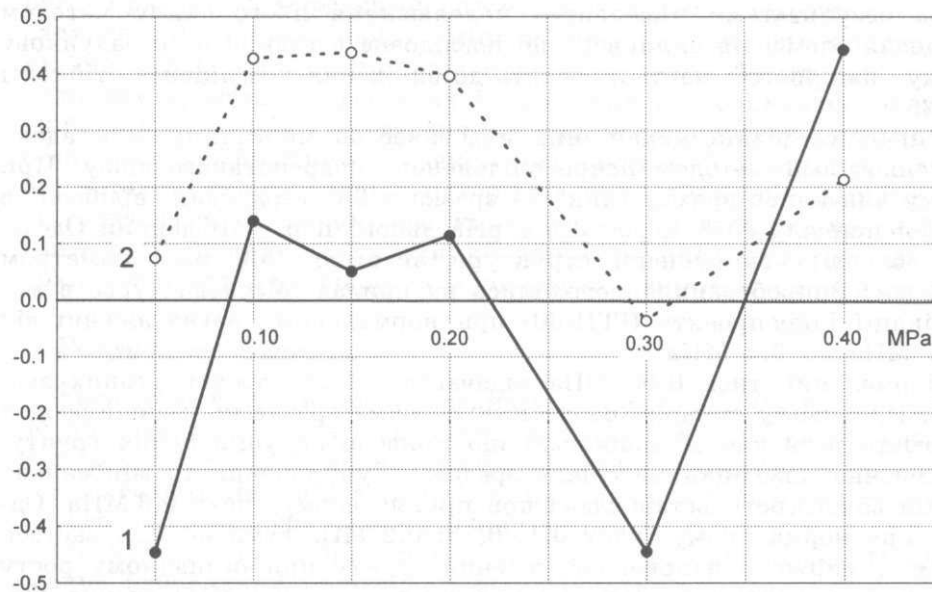
Нормальний тиск 0,05 МПа задавався у 22 % досліджуваних зразків. При цьому сумарна пористість за усіма зразками зменшилася, а вологість незначно збільшилася, що привело до ущільнення ґрунту. Аналогічна поведінка матеріалу зразка — ущільнення та мінімальна втрата вологості, встановлена при прикладеному тиску 0,3 МПа. Однак, при нормальному тиску 0,1; 0,15; 0,2 МПа сумарно відбувається чимале, майже однакове, зволоження ґрунту при незначному рості підсумкової пористості. При нормальному тиску 0,4 МПа значно зростає пористість глин, але збільшення вологості приблизно вдвічі менше, ніж у попередніх випадках.

Випробування на зріз показали, що, в значній кількості випадків, руйнування зразків супроводжувалося збільшенням вологості і пористості. Сумарні зміни пористості і вологості по всіх свердловинах і для всіх зразків приведені на рисунку 1. Збільшення пористості ґрунту під впливом нормального і дотичного напруження веде до його розушільнення і, відповідно до зміни обсягу, ділатансії. Відзначався взаємозв'язок такого розушільнення і міцності ґрунтів [3].

Стадія підготовки зсуву, тривалість якої складає десятки років, характеризується практично постійним розвитком зсувних деформацій повзучості в корінних породах основного деформуємого горизонту і повторних зсувів в ґрунтах, що зсунулися раніше. У зоні формування поверхні зміщення зсуву в процесі ділатантного розушільнення ґрунту можливе виникнення негативного порового тиску. Це може приводити, по-перше, до росту ефективних напруг і тимчасового збільшення опору ґрунтів зрушенню і, по-друге, до підтягування крізь зони розушільнення води з піщаних прошарків, що містять напірні води.

Результатом збільшення ефективних напруг є зниження швидкості зсувних зміщень, що спостерігається в природних умовах за кілька років перед основним зсувом. Результатом наступного збільшення вологості ґрунтів у зоні зрушення є зниження зчеплення ґрунтів у зоні зрушення, активізація зсувних зміщень чи формування нового

зсуву. Обидва процеси — зниження швидкості зсувів та їхня активізація найчастіше відбуваються, як свідчать дані натурних спостережень, циклічно.



Р и с. 1. Сумарні зміни пористості (1) і вологості (2) по всіх зразках меотичних глин

Поверхня зміщення зсувів випору звичайно приурочена до існуючих послаблених прошарків лігнітизованих глин і дрібнозернистих пісків з напірними водами. Разом з тим, у вертикальному розрізі меотичних відкладів існує система потенційно послаблених зон, що не завжди можуть бути діагностовані за літологічними ознаками, а проявляться там, де за умовами напружено-деформованого стану порід можливий розвиток процесів ділатантного розуцільнення і зниження міцності ґрунтів.

Особливості гідродинамічного режиму меотичного водоносного горизонту вивчалися за даними спостережень на зсувних стаціонарах північно-західного узбережжя Чорного моря. По цим даним оцінювався зв'язок гідродинамічного режиму меотичного водоносного горизонту зі зсувними зміщеннями. При припущенні про профільну і латеральну ізолюваність водомістких лінз і прошарків основного деформуємого горизонту, гідростатичний тиск (п'єзометричний напір) усередині такої замкнутої системи залежить від її чутливості до змін напружено-деформованого стану порід.

Встановлено, що на стадії підготовки основного зміщення зсуву випору в гідродинамічному режимі меотичного водоносного горизонту виділяються два періоди. Перший характеризується незначними середньорічними змінами (5-10 см) величин напорів у зв'язку з відсутні-

стю стійких у гідродинамічному відношенні зон розвантаження і перетоку. Протягом другого періоду (3–5 років) — за 1–3 року до основного зсуву — починається значне (0,5–2,0 м) зниження напорів (рис. 2).

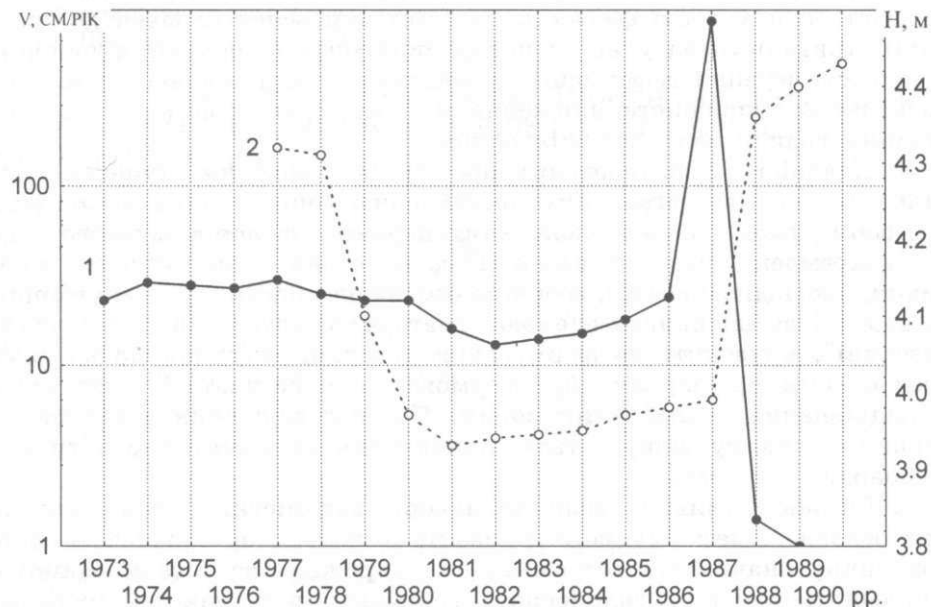


Рис. 2. Дані режимних спостережень на зсувному стаціонарі "Григор'ївка":
1 — швидкість зсувних зміщень (максимум відповідає стадії основного зміщення);
2 — п'єзометричний рівень меотичного водоносного горизонту

Ці особливості гідродинамічного режиму меотичного водоносного горизонту встановлені за даними спостережень на трьох зсувних стаціонарах північно-західного узбережжя Чорного моря ("Ново-Дофинівка" — св. 1247, "Сичавка" — св. 1295, "Григор'ївка" — св. 1345).

Висновки

Таким чином, результати експериментальних досліджень і польових спостережень дозволяють зробити наступні висновки.

1. Існуючий механізм формування зон розушільнення в ґрунтах основного деформуємого горизонту обумовлений:

— гідрогеомеханічним ефектом дії напірного водоносного горизонту, що зважає, головним чином в області формування вала випору, на ділянках примикання зсувних нагромаджень до непорушеного масиву порід, границях зсувних блоків;

— зсувними деформаціями, що можуть приводити до збільшення пористості і вологості в зоні зрушення.

2. Ефект зниження напорів водоносного горизонту, обумовлений формуванням зон розущільнення, приводить до збільшення ефективних напруг у водомістких лінзах і прошарках і, відповідно, до зменшення швидкостей зсувних деформацій перед основним зміщенням. При практично незмінному рівні напруженого стану порід схилу (крутість схилу в цю фазу стадії підготовки зсуву близька до граничної), тривалість часу від початку синхронного зниження напорів і швидкості зсувних деформацій до настання стадії основного зміщення визначається швидкістю зниження міцності ґрунтів за рахунок підтягування води в зони розущільнення.

3. Наявність лігнітизованих прошарків з високим ступенем гідрофільності, сприяє загальному послабленню зони зсувних деформацій, що формується, і прояву локальних переміщень порід зсувного схилу й відокремленої частини плато. Подальше зниження міцності до величин, що відповідають лабораторним визначенням куту внутрішнього тертя і зчеплення за схемою "повторного зрушення при змоченій поверхні", приводить до формування поверхні ковзання по існуючим послабленим прошаркам або сформованим в результаті ділатантного розущільнення послабленим зонам. Після завершення зсуву випору першого порядку відбувається відновлення гідростатичного тиску в прошарках і лінзах.

4. Висока чутливість величин напорів водомістких прошарків ґрунтів основного деформуемого горизонту зсувів випору визначає велику практичну значимість режимних спостережень за п'єзометричними рівнями меотичного водоносного горизонту в зв'язку з прогнозом зсувів.

Література

1. Зелинский И. П., Корженевский Б. А., Черкез Е. А. и др. Оползни северо-западного побережья Черного моря, их изучение и прогноз. — К.: Наук. думка, 1993. — 227 с.
2. Черкез Е. А. Оползни северо-западного побережья Черного моря (моделирование, прогноз устойчивости склонов и оценка эффективности противооползневых мероприятий): Авто- реф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. — Одесса, 1994.
3. Біч Г. М., Боскин А. И. О взаимосвязи дилатансии и сопротивления сдвигу грунта // Прогрессивные технологии, материалы, конструкции и методы исследований для строительства в прибрежной зоне моря. — М.: В/О "Мортехинформреклама", 1991. — С. 48- 50.

Е. А. Черкез, Е. В. Драгомирецкая, Г. М. Бич

Одесский национальный университет им. И. И. Мечникова, кафедра инженерной геологии и гидрогеологии, ул. Дворянская, 2, Одесса, 65026, Украина

Черноморниипроект, Сектор исследования оснований, пр. Шевченко, 12, Одесса, 65058, Украина

ГИДРОГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ОПОЛЗНЕЙ ВЫДАВЛИВАНИЯ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО ПОБЕРЕЖЬЯ ЧЕРНОГО МОРЯ

Резюме

Выявлен механизм формирования зон разуплотнения в основном деформируемом горизонте оползней выдавливания. Описан эффект снижения напоров мэотического водоносного горизонта, приводящий к уменьшению скоростей оползневых деформаций перед этапом основного смещения. Доказана практическая значимость режимных наблюдений за пьезометрическим уровнем мэотического водоносного горизонта в связи с прогнозом оползней.

Ключевые слова: оползни выпора, моделирование, дилатансия, силовое воздействие подземных вод.

E. A. Cherkez, O. V. Dragomyretska, G. M. Bich

Mechnikov Odesa National University,
Department of Engineering geology and Hydrogeology,
2 Dvorianskaya st., 65026 Odessa, Ukraine

Chernomorniiproekt, Department of Reseaching of basicses,
12 Shevchenko pr., 65058 Odessa, Ukraine

HYDROGEOMECHANIC PARTICULARS OF FORMED THE SQUEEZE-OUT LANDSLIDE OF NORTH-WEST COAST OF THE BLACK SEA

Summary

The mechanism of formed deconsolidation zone in the basic deformed layer of squeeze- out landslide is discussed. The effect of drainage of aquifer which decreases the velocity of landslide deformation before the main dislocation is described. Significant practical value of regime observations for piezometric levels of Meotian aquifer in connection to landslide prognosis is proved.

Keywords: squeeze-out landslide, prognosis, dilatansis, power influence of aquifer.