

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ТЕЛЕ ГРАВИТАЦИОННОГО ОПОЛЗНЯ

Александра Андреевна Ислямова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, ассистент кафедры геофизики, e-mail: shatsaa@mail.ru

Михаил Михайлович Немирович-Данченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, профессор кафедры геофизики, e-mail: michnd@mail.ru

Работа посвящена расчету напряженного состояния в теле гравитационного оползня. Рассмотрен склон с покровными образованиями без явных признаков проявления оползневой деятельности (отсутствие трещин растяжения на поверхности склона). Для модельных профилей с применением стандартного пакета получены спектральные амплитудные характеристики. Выполнен расчет напряженного состояния на основе конечно-разностного моделирования.

Ключевые слова: оползень, напряженно-деформированное состояние, численное моделирование.

ESTIMATION OF THE STRESS-STRAIN STATE IN THE BODY OF THE GRAVITATIONAL LANDSLIDE

Alexandra A. Islyamova

National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, 30 Lenin Prospect, Assistant, Department of Geophysics, e-mail: shatsaa@mail.ru

Mikhail M. Nemirovich-Danchenko

National Research Tomsk Polytechnic University, 634050, Russia, Tomsk, 30 Lenin Prospect, Professor, Department of Geophysics, e-mail: michnd@mail.ru

The work is dedicated to the calculation of the stress-strain state in the body of the gravitational landslide. We review a slope without obvious signs of the manifestation of landslide activity (no cracks stretching on the surface slope). For test profiles we use standard package received spectral amplitude characteristics. Stress-strain state is calculated based on a finite-difference simulation.

Key words: landslide, stress-strain state, numerical simulation.

Настоящая работа посвящена подготовке и тестированию модели гравитационного оползня и расчета напряженного состояния в его теле. Многолетние натурные наблюдения и специально проведенные эксперименты на установках физического моделирования показывают, что в развитии напряженного состояния в теле оползня одну из главных ролей играет форма склона. Это в общем случае непрямоугольная область, с сильно искривленными границами и, как правило, с выраженной верхней бровкой. Отличительной особенностью постановки этой задачи от существующих является оценка устойчивости не уже

сформировавшегося оползневом тела на склоне, а склона с покровными образованиями без явных признаков проявления оползневой деятельности (отсутствие трещин растяжения на поверхности склона). Для решения этой задачи понадобится создание механико-математической модели склона сложного строения (на породах коренной основы склона залегают покровные образования конечной мощности, т. е. от 5 до 30 м), крутизна склона изменяется от 15 до 35 градусов. В данной работе задача расчета напряженного состояния решается численно, на основе конечно-разностного моделирования.

Для тестирования алгоритма и разработанной совокупности программ были использованы данные физического моделирования, полученные в Институте физики и механики горных пород НАН Кыргызстана [1]. Для анализа напряжений в теле оползня и оценки его устойчивости в [1] приводятся результаты физического моделирования на моделях, имеющих такой вид, как на рис. 1, а. В [1] рассмотрено три основных угла склона: 15, 25 и 35 градусов. Методом фотоупругости построены области максимальных касательных напряжений. Показывается, что для углов склона 35 градусов наиболее характерным является смещение области концентрации напряжений от угловой точки вниз по склону, и это служит признаком потенциальной неустойчивости склона и его оползнеопасности. Кроме того, количественной характеристикой является порядок полос в методе фотоупругости.

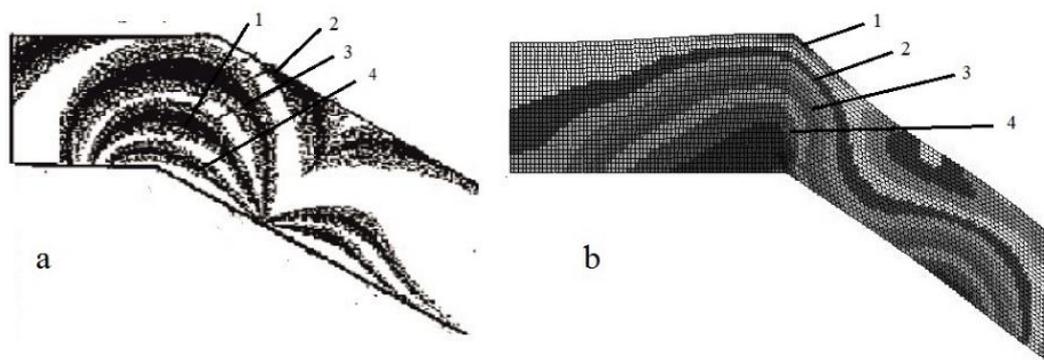


Рис. 1. Поле максимальных касательных напряжений в теле оползня:
а – рис. 3.5 из работы [1], б – наш результат; 1, 2, 3, 4 – порядок полос

Этот результат был воспроизведен с помощью компьютерного моделирования [2]. Для этого была взята область с углом наклона 35 градусов (рис. 1, б). Мощность покровных отложений (толщина) на склоне составила 24.5 м. Упругие свойства среды: модуль Юнга $E=5$ МПа, плотность $\rho=1500$ кг/м³, коэффициент Пуассона $\nu=0.32$. Сила тяжести входит в уравнения движения и направлена вертикально вниз. На рис. 1, б приводится установившаяся теневая картина максимальных касательных напряжений в верхней части модели. Хорошо видно, что особая точка поля напряжений не совпадает с углом модели, а сдвинута вниз по склону, что соответствует результату физического моделирования,

приведенному в [1]. Анализ напряженного состояния при натуральных наблюдениях за поведением устойчивых и неустойчивых склонов показывает, что поле напряжений при переходе к неустойчивому состоянию меняется следующим образом: зона растягивающих напряжений достигает подножия склона, а при развитом процессе наблюдается проседание дневной поверхности на расстоянии, сопоставимом с шириной покровных отложений (так называемая бровка). Оба этих явления получены в ходе компьютерного моделирования, что позволяет считать комплекс программ пригодным для дальнейших расчетов.

На следующем этапе нам требуется построить модель реального участка с запланированным строительством сооружений. В то время как модель рис. 1 была относительно простая (однородная среда с простой геометрией границ), реальные ландшафты зачастую не являются пенеценизированными и, кроме того, всегда стратифицированы. Это особенно хорошо видно на рис. 2 – исходных данных для построения цифровой модели.

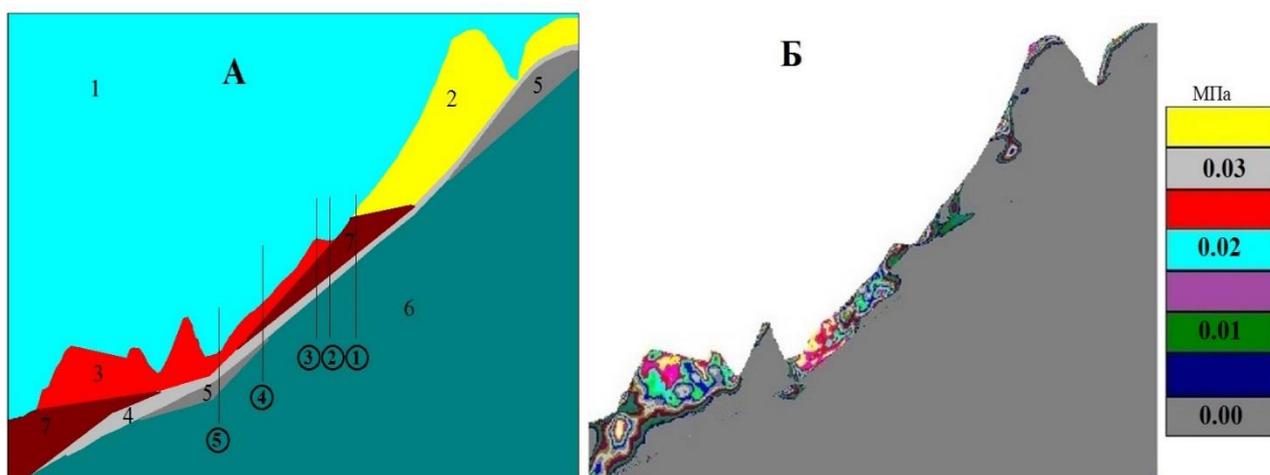


Рис. 2. Моделирование поля напряжений в теле оползня:

А – исходный растровый рисунок, 1 – воздух, 2–7 – разрез карьера (в соответствии с таблицей), цифры в кружках – тестовые колонки; Б – скриншот поля максимальных касательных напряжений и соответствующая шкала

Для построения рис. 2, А был взят отсканированный разрез карьера в окрестностях Белово, Кемеровской области. Этот скан был оцифрован с удалением раstra, затем залит модельными цветами. Такая технология необходима, чтобы задать в каждой цветовой точке свой набор упругих параметров и иных констант. Так, на рис. 2, А получается 7 различных по составу сред, включая атмосферный воздух (цифра 1). Константы и вещественный состав приведены в таблице, терминология и классификация даны в соответствии с ГОСТ 25100-2011 [3]. Общий размер модели – 819*598 м.

По построенной модели методом НЕМР [4] был выполнен расчет поля максимальных касательных напряжений, начальная стадия формирования поля напряжений показана на рис. 2, Б.

Упругие свойства и вещественный состав модельных сред

Номер среды	ρ , кг/м	V_s , м/с	V_p , м/с	Состав вещества
1	1,2041	0	343,26	Атмосферный воздух при +20°C
2	1,98	135–270	260–320	Суглинок аллювиально-делювиальный, полутвердый-тугопластичный
3	1,75	125–140	220–290	Насыпной грунт
4	1,954	140–180	240–290	Суглинок элювиальный, твердый-полутвердый с единичными включениями мелкой дресвы
5	2,20	600	1300	Полускальный грунт (аргиллит, алевролит, песчаник) выветрелый до щебня и дресвы – обломочная зона коры выветривания
6	2,20	1000	1600	Кора выветривания
7	1,91	135–180	220–350	Суглинок аллювиально-делювиальный, мягкопластичный-текучепластичный

Ниже (рис. 3) для части расчетной области представлена теневая картина установившегося поля максимальных касательных напряжений.

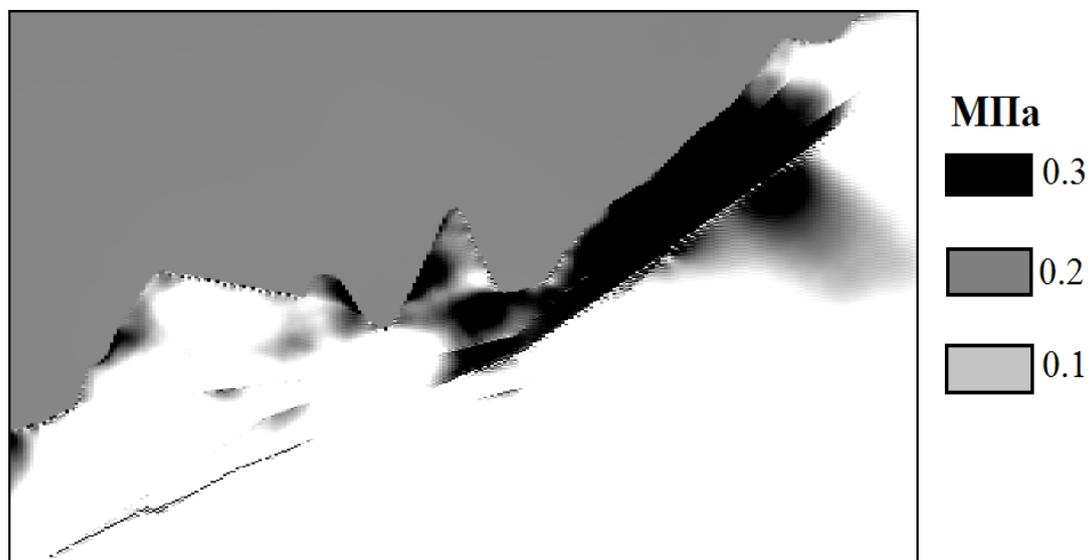


Рис. 3. Скриншот поля максимальных касательных напряжений для части расчетной области

Существующие в этой части модели касательные напряжения, достигающие 0.3 МПа, могут быть критическими для устойчивости оползневого тела, находящегося в метастабильном состоянии.

Проанализируем слоистую структуру тела оползня исходя из амплитудных характеристик.

Для уточнения характеристик выделенного участка склона с помощью пакета Deepsoil был проведен расчет амплитудных характеристик колебаний грунта по псевдоскважинам (колонкам), на входе при этом задается возмущение грунта из стандартной библиотеки. Характерной вычисляемой величиной является пиковое ускорение грунта (PGA) в долях g.

На рис. 2 были выделены тестовые колонки, выбранные для расчета (обозначены цифрами в кружочках, от 1 до 5). Колонки 1, 2, 3 выбраны в области начала формирования картины максимальных касательных напряжений, 4 – в центре критической зоны, 5 – в части перегиба этой зоны. Расчеты выполнены по всем колонкам, но ниже приводятся и анализируются только характерные из них – по колонкам 1 и 4. На рис. 4 приведены спектры исходного сигнала (черная линия) и изменение его от слоя к слою. Рис. 4, а соответствует вычислениям для колонки 1, рис. 4, б – для колонки 4. Видно, что часть слоев для колонки 1 гасит амплитуду входного сигнала, в то время как рис. 4, б показывает, что все слои колонки 4 значительно усиливают амплитуду возмущения.

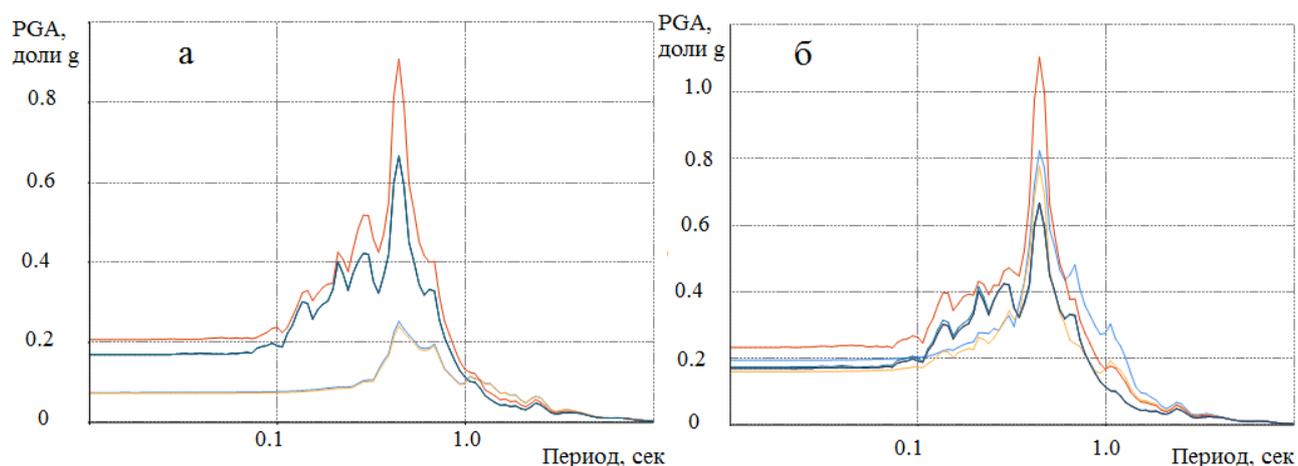


Рис. 4. Сравнение пикового ускорения (PGA) в долях g для колонок 1 (а) и 4 (б)

Подводя итог проведенному исследованию, можно предположить, что средняя часть склона может оказаться наиболее неустойчивой при дополнительных условиях, критических для гравитационных оползней: резкое изменение влажности и/или сейсмического воздействия любого генезиса.

Это поведение вызвано наличием мягкопластичного (термины даются по [3], таблица Б.19) суглинка, частично подстилающего насыпной грунт. Мягкопластичный суглинок от колонки 1 начинает течение в поле силы тяжести, описанное на рис. 1, в нем образуется бровка и напряженное состояние смещается вниз по склону, приводя к росту касательных напряжений в районе колонки 4.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Айтматов И.Т., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В. Геомеханика оползнеопасных склонов. – Бишкек: Изд-во "Илим", 1999. – 208 с.
2. Немирович-Данченко М.М., Стефанов Ю.П. Применение конечно-разностного метода в переменных Лагранжа для расчета волновых полей в сложнопостроенных средах // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 11. – С. 95–104.
3. ГОСТ 25100–2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. – М., 2013. – 60 с.
4. Wilkins M.L., Calculations of Elastic-Plastic Flow // Methods in Computational Physics. – 1964. – Vol. 3. – P. 211–263.

© А. А. Ислямова, М. М. Немирович-Данченко, 2017