

Дискретное моделирование гравитационных процессов и устойчивости склонов

Михайлов Владимир Олегович

Аспирант

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия
E-mail: vladg27@rambler.ru*

В настоящее время существуют различные математические модели возникновения и динамики гравитационных процессов – оползней, обвалов, осыпей. Модели возникновения гравитационных процессов, как правило, основываются на расчете коэффициента устойчивости склона [1]. Модели динамики, в свою очередь, можно разделить на три группы на основе специфики физико-математической основы – непрерывные, дискретные и клеточные автоматы [2]. При этом дискретные модели являются наиболее универсальными и имеют широкую сферу применения.

В связи с этим, автором статьи разработана оригинальная трехмерная дискретная модель движения вещества DEBRIS (Digital Elementary Balls & Relief Interaction Simulation, то есть цифровая модель взаимодействия элементарных сферических частиц и поверхности) [3]. Модель основана на численном решении дифференциального уравнения движения материальной точки, составленного в соответствии со вторым законом Ньютона. Движение вещества в модели описывается траекториями движения центров масс частиц сферической формы – материальных точек. Ложе потока в модели соответствует поверхности цифровой триангуляционной модели рельефа. При движении частицы упруго взаимодействуют между собой, а также с поверхностью ложа, испытывая при этом влияние трения.

Исходными данными для модели являются цифровая модель рельефа, а также физические свойства каждого типа пород - значения плотности, модуля Юнга, угла сухого трения, сцепления, коэффициента вязкого трения (для жидкой фазы).

При калибровке модели частицам задавались определенные значения коэффициента сухого трения скольжения (для оползней) или качения (для обвалов, селей). При наилучшем совпадении контуров зон развития процесса в модели и в реальности отмечалось соответствующее значение коэффициента сухого трения, а также динамические и морфологические параметры процесса.

Затем при установленном значении коэффициента сухого трения устанавливалось максимальное значение сцепления, при котором толща пород на склоне становится неустойчивой и приходит в движение.

В результате моделирования некоторых известных и хорошо изученных катастрофических оползней и обвалов были получены соответствующие значения угла сухого трения, а также значение сцепления при начальном положении массива пород на склоне (рис. 1). Модель DEBRIS была апробирована для оползня-блока Вайонт (Италия, Альпы, 1963), схода ледника Колка (Россия, Кавказ, 2002), Уаскаранского обвала - оползня-потока (Перу, 1970), Аттабадского оползня - обвала (Пакистан, Каракорум, 2010), оползней-потоков: Игун (Китай, Тибет, 2000) и Хаит (Таджикистан, 1949), оползней: Танцзяшань и Дагуанбао (Китай, Сычуань, 2008).

Данная информация использована в модели DEBRIS для расчета движения намечаемых оползней и обвалов, а также для оценки устойчивости склонов, при которой определялась возможность прихода толщи пород в движение при заданном рельефе и физических свойствах пород - плотности, модуля Юнга, угле сухого трения и сцепления.

Литература

1. Калинин Э.В. Инженерно-геологические расчеты и моделирование. М.: Изд-во МГУ. 2006. С. 12-177.
2. Михайлов В.О. Классификация численных математических моделей селевых и склоновых процессов. // Инженерная геология. 2011. 3. – С. 56-63.
3. Михайлов В.О. Трехмерная математическая модель обвальных процессов. // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2011. 4. – С. 53-58.

Слова благодарности

Автор выражает благодарность своему научному руководителю С.С. Черноморцу за помощь в работе

Иллюстрации

Событие, тип	Объем перемещенного вещества, млн. м ³	Мощность перемещенного вещества, м	Перемещение по высоте, км	Дальность прохождения, км	Уклон поверхности отрыва пород, °	Уклон ложа перемещаемого вещества, °	Уклон поверхности отложений, °	Максимальная скорость движения, м/с	Угол сдвига / сцепления, МПа	Угол трения-скольжения или качения, °	Причины возникновения	
Вайонт оползень-блок	270	250	0,3	0,5	10-40	8-20	4-9	30	16,7/ 0,24	8,5	обводнение ложа при подтоплении, пластичные глины в ложе	
Колка ледово-глыбовый оползень-поток - сель	140 (90 – лед, 50 – порода)	150	2	16,5	10-12	3-10	2-3	90	8,5/ 0,12 (лед)	4,6 (лед) 6,3 (порода)	подогрев и обводнение ложа и толщи ледника, ударное воздействие обвалов	
Уаскаран	обвал	8	50	2,5	6	50-70	20-40	3-4	125	45/ 0,82	16,7	сейсмогенная дестабилизация
	оползень-поток - сель	58	10	1	8	7-10	4-7	3-4	64	8,5/ 0,15	3,4	сейсмогенная дестабилизация, обводнение ложа
Аттабад	глыбовый оползень-обвал	20	50	0,6	1	40-50	40-50	12-17	60	31,0/ 0,29	16,7	сейсмогенная дестабилизация
	оползень-поток - сель	10	50	0,1	2	10-15	1-2	4-5	40	16,7/ 0,22	5,7	ударное воздействие обвала, обводнение толщи и ложа
Игун глыбовый оползень - оползень-поток - сель	300	300	2,2	10	40-70	20-30	4-7	90	16,7/ 0,29	9,6	обводнение толщи и ложа	
Хант глыбовый оползень - оползень-поток	75	100	1	6,5	30-32	5-21	2-5	40	19,3/ 0,28	9,6	сейсмогенная дестабилизация, обводнение толщи и ложа	
Танзьяшань глыбовый оползень	21	100	0,3	0,5	40-45	10-40	18-21	20	26,6/ 0,29	16,7	сейсмогенная дестабилизация	
Дагуанбао оползень-блок - глыбовый оползень	837	600	0,7	2,5	20-60	10-20	10-12	70	16,7/ 0,42	9,6	сейсмогенная дестабилизация, обводнение толщи и ложа	

Рис. 1: Основные характеристики гравитационных процессов по результатам моделирования