© В.С. Вагин, В.Б. Заалишвили, В.И. Голик, 2005

УДК 504.55.054:662 (470.6)

В.С. Вагин, В.Б. Заалишвили, В.И. Голик

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАТАСТРОФИЧЕСКИХ СДВИЖЕНИЙ

Семинар № 8

Для горных регионов характерны катастрофы в виде сдвижений породных и ледовых масс. В скальных массивах процесс выветривания сопровождается накоплением крупнообломочного материала и валунов на склонах массивов. Сдвижения возникают на естественных склонах или на склонах выемки в грунте. Пространство, ограниченное поверхностью откоса и плоскостью склона, представляет собой блок грунта. Под действием силы тяжести блок стремится сместиться вниз, чему препятствуют силы сцепления его с грунтом.

Склонность пород к сползанию зависит от их свойства связности или сопротивляемости стремлению разъединить слагающие их минеральные частицы. Если связности больше, чем сила, стремящаяся сместить грунт, склон устойчив. Если же она меньше составляющей веса, которая действует вдоль склона, то склон может сместиться. Причиной обвалов нередко служат слабые землетрясения, связанные со снежными лавинами и оползнями. Породы, неподвижно лежащие на коренном основании, в действительности находятся в состоянии неустойчивого равновесия или медленного движения.

Для доказательства этого проведено математическое моделирование данных сейсмического микрорайонирования территории. Обследовано 3 участка. Коренные породы представлены песчаниками и глинистыми сланцами, обнажающимися на склонах, косогорах и террасовых уступах, а также у подножья и на склонах эрозионного останца.

Глинистые отложения имеют мощность от 1 до 20 м, показатель консистенции $J_L \le 0.25$ и коэффициент пористости $e_{cp} \approx 0.76$. Аллювиальные отложения представлены галечниками с включением мелких валунов с песчаным заполнителем до 30 %. Коренные породы представлены глинистыми сланцами и песчанистыми глинами с прослоями песчаников. Они залегают на глубине 1-30 м. Поверхностный слой пород выветрен на 2 м.

В качестве источника импульсов применен поверхностный газодинамический источник СИ-32. Обработкой полученных сейсмограмм устанавливались основные типы сейсмических волн: продольные, поперечные и волны Релея. Скоростные разрезы составлялись с помощью годографов соответствующих сейсмических волн. Сопоставление величин приращения баллов (ΔI2) по Медведеву с использованием средневзвешенных периодов колебаний грунта, возбужденных источником, и полученных по нашей методике, говорит о хорошей сходимости экспериментов.

$$\Delta I_1 = 1.67 \lg \frac{\rho_0 V_0}{\rho_i V_i} \qquad (1)$$

$$\Delta I_2 = \lg \frac{\rho_0 V_0}{\rho_i V_i} e^{2.5 \lg \frac{V_0}{V_i}} \qquad (2)$$

Особенностью примененной методики сейсмического микрорайонирования является отнесение общей сейсмичности территории не к средним по сейсмичности грунтам, а к худшему по сейсмичности грунту, на котором объекты претерпели максимальные деформации. Худшие грунты представлены разностями, характеризующимися меньшей прочностью и скоростью распространения поперечных волн. К ним отнесена уточненная по сейсмологическим и сейсмотектоническим данным сейсмичность района, равная 7 баллам.

За эталонную грунтовую толщу принята толща мощностью слоя глин более 10 м. Первый слой в виде делювиальных глин и суглинков, подстилаемый вторым слоем из аллювиальных галечников с мелкими валунами с песчаным заполнителем в количестве до 30 %, и нижний третьим слоем из выветрелых сланцевых глин. Эта толща подстилается выветрелыми сланцеватыми глинами мощностью более 300 м.

Приращения сейсмичности на поверхности грунтовой толщи: наибольшее 1,24 балла для модели с мощностью верхнего слоя глин 19 м и минимальное 0,84 балла для мощности глин 12 м.

На основании экспериментальных данных составлена карта сейсмического микрорайонирования в масштабе М 1:10000. На территории выделены зоны: шестибалльная с мощностью верхнего слоя глин (3-5 м) и слой галечника; семибалльная - при повышении мощности слоя глин до 20-25 м. Площадь шестибалльной зоны составляет около 70 % районируемой территории. Для оценки грунтов на участках использованы значения периодов, возбужденных мощным источником (табл. 1).

Приращение балльности по формуле Николаева - Заалишвили:

$$\Delta I = 0.8 \lg \frac{\rho_0 V_0 f_{0св}^2}{\rho_i V_i f_{icc}^2} \qquad (3)$$

При использовании маломощного источника приращение балльности, рассчитанное для данного участка с помощью формул Медведева и Максимова - Заалишвили составили, соответственно, 0.44 и 0.51 балла. Использование формулы с данными при работе СИ-32, дало результат $\Delta I = 0.79$ балла.

По результатам моделирования к опасным в сейсмическом отношении отнесены оползневые участки, а также участки, покрытые слоем грунта и крутые склоны. Сейсмичность 7 баллов, отнесенная к грунтам II категории, коррелирует с данными детального сейсмического районирования территории СССР 1985 г.

Приращение балльности грунтов, слагающих территорию участка, определялось способом акустических жесткостей и инженерно-геологическим методом. Для изучения сейсмических свойств пород использован вибрационный источник СВ-I0/100. Для расчета приращения балльности использована формула Ершова:

$$\Delta I = 2 \lg \frac{A_{\max_i} T_{\max_i}}{A_{\max_0} T_{\max_0}} \qquad (4)$$

Учитывая необходимость сопоставления поглощаемости упругой физической системой приходящей энергии, выражаемой в виде площадей спектров колебаний, а также результаты специальных экспериментальных исследований на участках с известной проявленной интенсивностью, формула для расчета приращений балльности уточняется:

$$\Delta I = 2 \lg \frac{\int_0^\tau A_i T_i dt}{\int_0^\tau A_0 T_0 dt} \qquad (5)$$

Для упрощения интегрирование целесообразно заменить суммированием:

$$\Delta I = 2 \lg \frac{\sum A_i T_i \Delta t}{\sum A_0 T_0 \Delta t} \qquad (6)$$

При моделировании геолого-структурных факторов разрушения объектов определяются деформации земной поверхности - ε, R и по ним вычисляется показатель суммарных деформаций Δl, который является основой для прогноза повреждений горных объектов:

$$\Delta l = l \sqrt{m_\varepsilon^2 \varepsilon^2 + m_k^2 H_з^2 / R^2}, \qquad (7)$$

где l - длина объекта; m_ε, m_k - коэффициенты условий работы, усредняющие горизонтальные деформации и кривизну по длине объекта; ε, R - расчетные величины горизонтальной деформации и радиуса кривизны; $H_з$ -высота зоны влияния объекта.

При прогнозировании сдвижений используются или значения деформаций земной поверхности в центре объекта, или средняя величина деформаций в некоторых характерных точках (края и центр) объекта, или суммарная величина деформаций по длине объекта, определенная интегрированием расчетной функции.

Исследуется влияние положения подрабатываемого объекта в зоне влияния тектоники массива на величину суммарных деформаций. Рассматривают ту часть показателя Δl, которая зависит от горизонтальных деформаций основания, т.е. величина суммарных горизонтальных деформаций Δl_ε.

Для выявления названных зависимостей определяют функцию распределения горизонтальных деформаций – Гаусса:

$$F' = \frac{-x.e^{-x^2}}{\sqrt{2\pi}} \qquad (8)$$

Характер распределения функции F' принимают адекватным условиям полного разрушения земной поверхности, а соответствующая длина полу-мульды L аппроксимируется в пределах изменения аргумента функции от – 3,0 до + 3,0.

Таблица 1

Средневзвешенные периоды колебаний на участках

Участок	**Средняя скорость поперечной волны V_s, м/с**	**Средневзвешенный период (оср.), $T_{св}$, с**	**Преобладающий период (H=10 м), $T_{пр}$, с**
1	390	0,065	0,103
2	470	0.043	0,085
3	230	0.152	0,173
4	670	0,040	0,060
5	380	0,058	0,105
6	230	0,126	0,173
7	440	0,079	0,091
8	250	0,122	0,160

Таблица 2

Величина горизонтальных деформаций

X ср	$\Delta l\varepsilon = \int_{Zn}^{Zk} F'(z)$		$\Delta l_{\varepsilon} = l^{**}\varepsilon$		**Абсолютное отклонение**		**Относительное отклонение, %**	
	$l = 0{,}2L$	**l=0,1 L**	**l=02L**	**l=0,1L**	**l=0,2L**	**l=0,1L**	**l=0,2L**	**l=0,1L**
0	0,078	0,019	0,028	0,014	-0,050	-0,005	0,5%	0,1
0,1	0,725	0,238	0,398	0,199	-0,328	-0,039	3,5%	0,7
0,2	3,537	1,501	2,802	1,401	-0,735	-0,100	7,8%	1,8
0,3	8,710	4,568	9,253	4,627	0,543	0,058	5,8%	1,0
0,4	9,386	5/673	12,083	6,042	2,698	0,369	28,7%	6,5
0,5	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0%	0,0
0,6	-9,386	-6,673	-12,08	-6,042	-2,698	-0,369	28,7%	6,5
0,7	-8,710	-4,568	-9,253	-4,627	-0,543	-0.058	5,8%	1,0
0,8	-3,537	-1,501	-2,802	-1,401	0,725	0,100	7,8%	1,8
0,9	-0,725	-0,238	-0,398	-0,199	0,328	0,039	3,5%	0,7
1,0	-0,078	-0,019	-0,028	-0,014	0.050	0,005	0,5%	0,1

Расчеты выполнены при двух значениях длины объекта: 0,1L и 0,2L, где L – длина полумульды. В результате вычислений получены значения суммарных горизонтальных деформаций Δl для точек полу-мульды с координатами z, кратными 0,1L (табл. 2). Более точные значения получены при интегрировании функции F. Относительные расхождения между значениями Δl_{ε}, рассчитанными через ε_u и путем интегрирования, изменяются в пределах от 0% до 29% при длине здания 0,2L и от 0% до 6,0 % при длине здания 0,1L.

Полученные результаты с достаточной доверительностью указывают на корреляцию величины показателя суммарных горизонтальных деформаций Δl от соотношения длин подрабатываемого участка литосферы и расчетной полу-мульды.

По результатам выполненного моделирования скальные массивы представляют собой совокупность структурных отдельностей с неопределенным и независимым характером взаимодействия, что предполагает различие вариантов развития процессов деформирования в результате перераспределения напряжений и определяет степень опасности строительства и эксплуатации горных объектов, сооружаемых в их пределах.

Коротко об авторах

Вагин В.С. – кандидат физико-математических наук, СКГМИ.
Заалишвили В.Б. – доктор физико-математических наук, СКО ОИФЗ.
Голик В.И. – доктор технических наук, профессор, СКГМИ.