

ЭКСПРЕСС-ПРОГНОЗ ВРЕМЕНИ ОБРУШЕНИЯ ОПОЛЗНЕВОГО СКЛОНА В УСЛОВИЯХ ЧС

Ю.Г. Алешин

Институт геомеханики и освоения недр НАН КР.

Большое число оползней на горноскладчатой территории Центральной Азии возникает как бы неожиданно для специализированных организации и ведомств на неизученных ранее склонах. Трещины оползневого закола и первичные оползневые подвижки отмечаются населением и это является первичной информацией для таких организаций, которым необходимо принять экстренные решения о возможности обрушения склона, угрозе поражения промышленных, социальных и объектов инфраструктуры и, главное, остатка “времени жизни” оползнеопасного склона, что определяет возможность и необходимость его детального изучения и разработки противооползневых мероприятия или срочной эвакуации населения, промперсонала и материальных ценностей. Это является чрезвычайно сложной задачей для ответственных лиц (лиц принимающих решения- ЛПР), поскольку такие решения принимаются в условиях дефицита времени и минимальной информации об активности оползня и стадии его развития.

Быструю и довольно обоснованную оценку времени обрушения оползневого склона в вероятностном аспекте можно получить в результате применения следующей поэтапной процедуры, к реализации которой можно привлечь наблюдателей из числа местного населения:

(1)- в головной части оползня вкрест трещины оползневого закола разбивается реперная сеть, состоящая из трех-четырех (K) профилей, каждый из которых содержит по крайней мере 4 репера, два из которых размещаются в устойчивой части склона (выше трещины оползневого закола), и два в теле формирующегося оползня; расстояние l между реперами выбирается в пределах от 10 до 20 м с тем, чтобы избежать влияния оперяющих оползневой закол трещин;

(2)- немедленно после разбивки реперной сети, а в последствии два-три раза в сутки, производятся измерения расстояния между реперами, каждого профиля, фиксируя смещение Δl_{ij} оползня между i -м и j -м соседними реперами, выделяя наибольшее значение Δl_{ijmax} ; при этом в первые сутки необходимо увеличить частоту измерений с тем, чтобы обосновать режим оползневого мониторинга в последующее время;

(3)- по результатам последних трех измерений каждого измерительного цикла в моменты времени t_1, t_2 и t_3 рассчитываются локальные скорости $\dot{\epsilon}_{kij}$ и ускорения $\ddot{\epsilon}_{kij}$ деформации грунтов оползневого тела согласно следующему

$$\begin{cases} \dot{\epsilon}_{kij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\Delta l_{kij}^{(1)}}{\Delta t_{21} \cdot l_{kij}} + \frac{\Delta l_{kij}^{(2)}}{\Delta t_{32} \cdot l_{kij}} \right); \\ \ddot{\epsilon}_{kij} = 2 \left(\frac{\Delta l_{kij}^{(2)}}{\Delta t_{32} (\Delta t_{32} + \Delta t_{21}) l_{kij}} - \frac{\Delta l_{kij}^{(1)}}{\Delta t_{21} (\Delta t_{32} + \Delta t_{21}) l_{kij}} \right); \end{cases} \quad (1)$$

где: $\Delta t_{m,n} = t_m - t_n, m, n \in (1,3), m \neq n$; после чего определяются общая скорость и ускорение деформации оползневого блока вдоль k -го реперного створа зоны растяжения

$$\begin{cases} \dot{\varepsilon}_{k3} = \sum_{i/i \neq j} \dot{\varepsilon}_{kij} = \dot{\varepsilon}_{k12} + \dot{\varepsilon}_{k23} + \dot{\varepsilon}_{k34}; \\ \ddot{\varepsilon}_{k3} = \sum_{i/i \neq j} \ddot{\varepsilon}_{kij} = \ddot{\varepsilon}_{k12} + \ddot{\varepsilon}_{k23} + \ddot{\varepsilon}_{k34}; \end{cases} \quad (2)$$

(4)- по результатам последних шести-девяяти измерительных циклов синтезируются нелинейные функции тренда методом наименьших квадратов

$$\dot{\varepsilon}_k(t) = b_0 \exp \{ \alpha t^{n_k} \}; \quad \ddot{\varepsilon}_k(t) = n \alpha t^{n_k-1} b_0 \exp \{ \alpha t^{n_k} \}, \quad (3)$$

откуда определяется параметры аппроксимирующих функции b_{0k}, α_k, n_k ;

(5)- при наличии субрегиональной статистики обрушений типа

$$\ddot{\varepsilon}_0 = C_p \cdot \dot{\varepsilon}_0^S, \quad (4)$$

где: C_p и S - параметры корреляционной взаимосвязи между скоростью и ускорения оползня накануне его обрушения, при этом C_p — параметр, определяемый вероятностью обрушения в зависимости от разброса данных от линии регрессии $\ddot{\varepsilon}_0$ ($\dot{\varepsilon}_0$), формируется уравнение

$$n_k \alpha_k t^{n_k-1} \cdot b_0 \exp \{ \alpha_k t^{n_k} \} = C_p \cdot (b_0)^S \cdot \exp \{ s \alpha_k t^{n_k} \}$$

или

$$t^{n_k-1} - \frac{C_p b_0^{(S-1)}}{n_k \alpha_k} \cdot \exp \{ (s-1) \alpha_k t^{n_k} \} = 0, \quad (5)$$

решение которого определяет время t_{rk} обрушение оползневого склона с вероятностью P вдоль k -го створа

$$t_{rk}^{(p)} = \arg_{t > 0} \left\{ t^{n_k-1} - \frac{C_p}{n_k \alpha_k} b_0^{(S-1)} \cdot l^{(s-1)dt n_k} = 0 \right\}; \quad (6)$$

(6)- результаты решения уравнений (6) при различных значениях k сравниваются между собой и выбирается

$$t_r^{(p)} = \min t_{rk}^{(p)} \forall k: k \in (\overline{1, K}), \quad (7)$$

что и определяет время оползневого обрушения склона, отсчитываемое с момента начала мониторинга оползневого смещения с помощью реперной измерительной сети на интервале измерительных циклов с учетом аппроксимации (3).

Базовое уравнение, определяющее критерий оползневого обрушения горного склона (4) следует представить в логарифмической форме

$$\ln \dot{\varepsilon}_0 = \ln C_p + S \ln \dot{\varepsilon}_0, \quad (8)$$

где параметры корреляционной функции C_p и S определяются субрегиональными или региональными условиями оползнеобразования и оползневой динамики. При отсутствии такой статистики можно воспользоваться закономерностями, установленными авторами работы [1] при обобщении материалов наблюдений за оползневыми обрушениями в разных частях планеты (Франции, Италии, Японии, США, Канаде, Чили, Швейцарии и др): $C_p=0,01 \text{ см/сут}^2$ при $P=0,05$; $C_p=0,022 \text{ см/сут}^2$ при $P=0,16$; $C_p=0,052 \text{ см/сут}^2$ при $P=0,5$; $C_p=0,11 \text{ см/сут}^2$ при $P=0,84$; $C_p=0,3 \text{ см/сут}^2$ при $P=0,95$; $S=1,50$ при всех $P \in (0,1)$, скорость смещения оползня выражена в см/сутки (рис.1.).

Прогнозная оценка времени обрушения $t_{rkq}^{*(p)}$ вдоль k -го локального профиля с вероятностью P после завершения q -ой серии измерительных циклов определяется в результате решения нелинейного уравнения относительно $t_{rkq}^{(p)}$:

$$\ln t_{rkq}^{(p)} - \frac{\alpha_{kq}(S-1)}{n_{kq}-1} (t_{rkq}^{(p)})^{n_{kq}} = \frac{1}{n_{kq}-1} \ln \frac{C_p b_{kq}^{S-1}}{n_{kq} \alpha_{kq}} \quad (9)$$

Прогнозная оценка времени обрушения склона $t_{rkq}^{*(p)}$ с вероятностью P после завершения q -ой серии измерительных циклов определяются по результатам анализа решений (9) для каждого k -го измерительного створа:

$$t_{rq}^{*(p)} = \min_{k \in (1, k)} \{t_{rkq}^{(p)}\} \quad (10)$$

Прогнозная оценка остатка “времени жизни” $t_{rq}^{(p)}$ оползневого склона с вероятностью P после q -ой серии измерительных циклов определяется как

$$\tau_{rq}^{(p)} = t_{rq}^{*(p)} - t_{q0}, \quad (11)$$

где: t_{q0} – момент времени начала q -ой серии измерительных циклов.

Тактическая оперативная оценка степени оползневой опасности определяется как остаток времени жизни оползневого склона после каждой q -ой серии измерительных циклов по (11).

Стратегическая оценка степени оползневой опасности определяет на основе анализа зависимости $\tau_r^{(p)}(q_i)$:

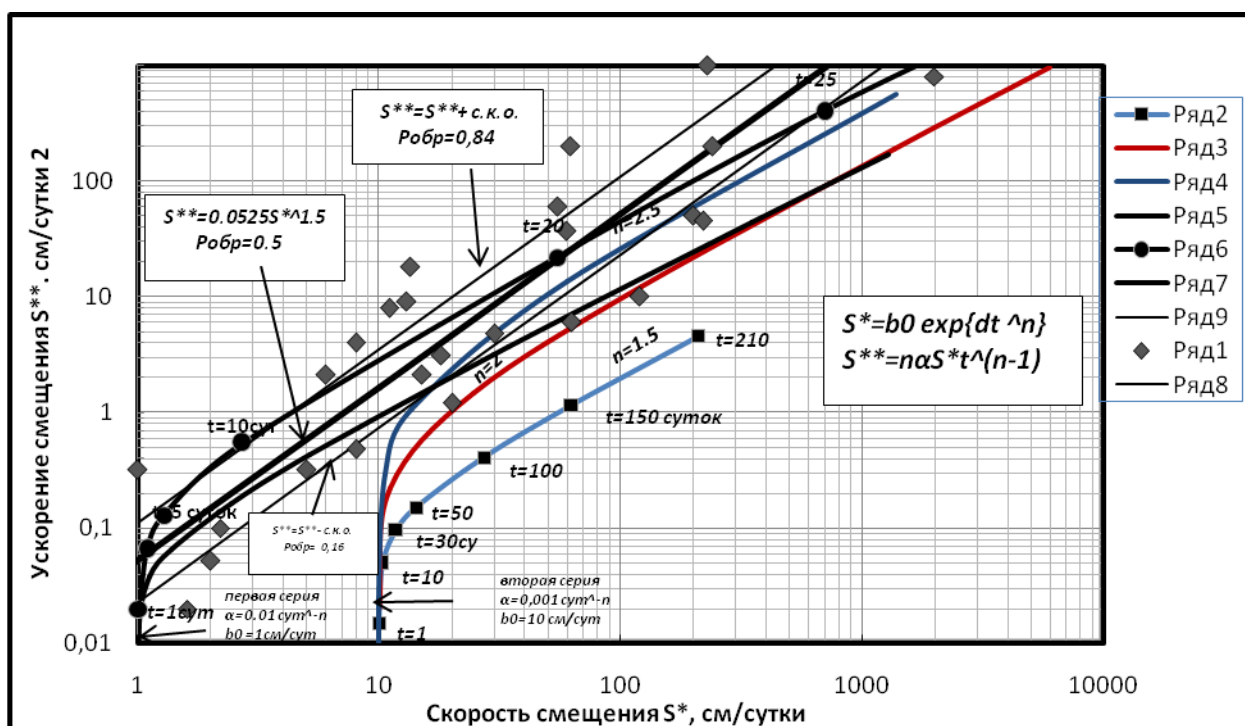


Рис. 1. Кинематические годографы смещения оползней в координатах фазового пространства $(S^*, S^{**}, t, P_{обр})$.

-при $\tau_r^{(p)}(q_i) = const$ - стабильно оползнеопасное состояние оползневого склона; (12)

-при $\tau_r^{(p)}(q_{i+1}) > \tau_r^{(p)}(q_i)$ - стабилизирующийся горный склон при сохранении оползневой опасности; (13)

-при $\tau_r^{(p)}(q_{i+1}) < \tau_r^{(p)}(q_i)$ - горный склон с активно развивающимся оползневым процессом. (14)

Условие (14) определяет необходимость проведения противооползневых мероприятий, обеспечивающих безопасность жизнедеятельности в зоне оползневого поражения даже при достаточно больших значениях $\tau_r^{(p)}$ в последней серии измерительных циклов.

В условиях чрезвычайной оползневой ситуации, связанной с активизацией вновь образованных оползней или оползней длительного смещения, но ранее не изученных, где не установлены ни характеристики грунтов, ни причины возникновения оползня, ни факторы оползневой активизации, метод кинематического годографа в координатах $(\dot{S}, \ddot{S}, t, P)$ на основе геоконтроля смещения оползня позволяет в короткие сроки сформировать краткосрочный (оперативный) прогноз развития оползневого процесса, который включает:

- изменение скорости $\dot{S}$ и ускорения $\ddot{S}$ движения оползневого блока на интервале прогноза T до нескольких десятков суток;
- тенденцию процесса по отношению к возможному обрушению оползня;
- вероятность обрушения оползня $P_{обр}$ в различные моменты времени в пределах горизонта прогноза.

Указанные прогнозные оценки перманентно уточняются в процессе мониторинга оползня, т.е. процедура обладает адаптивными свойствами.

Структурно прогнозирующий алгоритм является циклическим, отражающим реальное поведение оползней ЮЗТ. В каждом цикле анализируются данные, полученные в условиях, когда грунты в плоскости скольжения находятся во всех трех фазах (разрушения, стабилизации и мобилизации по Г.И. Тер-Степаняну[2]) при условии, что последующий предел мобилизации превышает предыдущий; в противном случае назначается новый цикл прогнозной процедуры. Такой подход позволяет ввести физическое обоснование в процесс ослабления влияния «старых» данных на новые прогнозные оценки. Каждый новый цикл оползневой активизации является откликом оползневой системы на изменившиеся условия и факторы, поэтому логично прогнозные оценки формировать для этих новых условий развития оползневого процесса.

Надежность прогнозных оценок в существенной мере зависит от статистики региональных, а лучше- субрегиональных (по бассейну реки) – данных реальных оползневых обрушений и зафиксированных при этом кинематических показателей смещения оползней. Важно также четкое определение понятия скорости и ускорения движения оползня «накануне» обрушения. «Накануне» - это довольно размытое понятие: для оползней длительного многолетнего смещения этот период времени может означать один-два месяца, а для первичных оползней – сутки или часы. Подобная статистика может быть сформирована только по результатам непрерывного мониторинга смещения оползней конкретного субрегиона. В условиях приближающейся катастрофической фазы это смещение должно регистрироваться телеметрически, либо автоматизированными приборами с дистанционной передачей данных.

Вторым важным фактором надежности прогнозных оценок является выбор функций аппроксимации $\hat{S}(t)$ и $\hat{\dot{S}}(t)$ или линий тренда по дискретно полученным данным геоконтроля смещения S оползня, который

обеспечивал бы наиболее высокий коэффициент детерминации R^2 . Это, в свою очередь, обеспечивает узкую доверительную зону для линий тренда в том числе и на участке экстраполяции в пределах горизонта прогноза T при движении оползней, грунты которых в плоскости скольжения находятся в стадиях разрушения и начала стабилизации. Хорошей аппроксимацией скорости смещение $\hat{S}(t)$ является кривая Гомперца вида $\hat{S} = b_0 \exp\{xt^n\}$, которая использована нами для прогноза смещения и обрушения реальных оползней в г. Майлуу-Суу. В том случае, когда предел $\dot{S}_{\text{стаб}}$ и время $t_{\text{стаб}}$ временной стабилизации установлены более или менее точно, хорошей аппроксимацией движения оползня в стадии мобилизации грунтов плоскости скольжения является функция

$$\hat{S} = b_0 \exp\{\alpha(t - t_{\text{стаб}})^2 + \beta(t - t_{\text{стаб}}) + c\}, \text{ где } c \approx \ln \dot{S}_{\text{стаб}} \cdot b_0$$

Третьим фактором надежности прогнозных оценок является точность данных геоконтроля смещения оползня, которая определяется не столько погрешностью аппаратуры, сколько методическими ошибками обустройства реперной сети наблюдений и производством собственно измерений исходных величин – расстояний между реперами в моменты времени регулярного опроса сети геоконтроля. Появление и рост оперяющих трещин, оформление новых блоков как по фронту движущегося оползня, так и в тыльной (устойчивой) части искажают кинематическую картину оползневого движения по данным неизменной сети наблюдений. Влияние таких ошибок наиболее заметно будет сказываться при малых скоростях смещения, что характерно для начальных стадий активизации оползневого процесса. Например, в Майлуу-Суу по нашим данным скорости смещения оползней в начальной стадии ежегодной активизации составляет десятые доли см/сутки на протяжении нескольких суток. И даже в самой активной стадии движения оползня

это различие может быть существенным. Так, после образования нового оползневого блока вверх по склону на оползневом участке «Тектоник» в 1999 году измерения, проведенные по старой реперной сети в марте 2000 г, дали результат по средней скорости смещения лидирующего блока 7,33 см/сутки, а по новой сети, когда реперы в устойчивую часть склона были вынесены за пределы вновь образованного блока, эти показатели увеличились до 9,66 см/сутки, т.е. расхождение составило более 30%. В этой связи, при каждом акте измерительной процедуры необходимо контролировать состояние реперной сети наблюдений и грунтов на участке ее размещения и принимать своевременные меры по ее реконструкции. В противном случае будет сделан ложный вывод о снижении оползневой опасности или более низком ее уровне относительно действительной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Federico A., Popescu M., Fidelibus C., et al. On the forecast of the time of occurrence of a failure: a review /Proc of the 9th Jnt. Symp. on Landslides.-Rio de Janeiro: Taylor and Francis. London. 2004. V.2. pp. 979-983
2. Тер-Степанян Г.И. Реологическое поведение глины при уровне касательных напряжений, близком к разрушающему //Проблемы геомеханики. 1982. №8 с. 144-152