

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СЕЗОННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ЛЕВОБЕРЕЖНОГО СКЛОНА В РАЙОНЕ ТОКТОГУЛЬСКОЙ ГЭС

Сыдыкова А.С., Эмильбеков Б.Э.

ИГОН НАН КР

ИГОН НАН КР проводит наблюдения за деформациями и смещениями потенциально обвалоопасного блока 46-R-7, расположенного в левобережном склоне Токтогульской ГЭС, начиная с 1970 г. Блок имеет высоту около 250 м и расположен над машинным залом. Поэтому выявление предрасположенности его к сползанию и обрушению имеет большое значение с точки зрения безопасности и проведения мероприятий по повышению его устойчивости.

Блок 46-R-7 представляет собой возможную призму обрушения, состоящую из подвижного клина, отделенного от основного массива зияющей тектонической трещиной 995, и подпорной стенки, отделенной от подвижного блока трещиной бортового отпора 69. Для мониторинга блока используются деформографы и гидростатические нивелиры, разработанные для регистрации угловых и линейных деформаций современных движений земной коры с чувствительностью 10^{-8} /1/. Деформографы регистрируют изменения расстояния, а нивелиры – вертикальные превышения, между точками массива, охваченными базами приборов. При совместном анализе используют как абсолютные значения перемещений, так и относительные, т.е. регистрируемые абсолютные перемещения, отнесенные к базам приборов. Они характеризуют вертикальные и горизонтальные перемещения между крайни-

ми точками горизонтально расположенного отрезка единичной длины. Можно также говорить об относительном полном векторе перемещения, имеющем компонентами зарегистрированные горизонтальные и вертикальные относительные перемещения.

Результаты долговременных наблюдений (1970-1991 гг.), полученные на четырех наблюдательных станциях левобережного склона в виде временных рядов с шагом по времени один месяц, позволили представить закономерности и динамику развития деформаций склонов /1/. Деформации состоят из двух составляющих: необратимых (остаточных) и обратимых (упругих). Последние имеют сезонный характер, т.е. их период равен одному году. Установлено, что в склонах, в результате развития необратимых деформаций, происходит смещение массива пород в сторону свободной поверхности. Скорости смещений массивов горных пород возрастают по мере приближения к дневной поверхности, т.е. в зоне разуплотнения пород.

По интенсивности развития деформаций и смещений склонов во времени выделяются три этапа: этап естественных деформаций склона, обусловленных разгрузкой и ползучестью скального массива (1970-71 гг.), этап интенсификации деформаций склонов под влиянием техногенных факторов (1972-77 гг.) и этап относительной стабилизации после завершения строительства плотины и заполнения водохранилища до 150 м. На основе анализа скоростей необратимых деформаций был предложен критерий устойчивости блока, согласно которому склон находится в естественном устойчивом состоянии, если скорости необратимых деформаций не превышают 10^{-4} 1/год /1/.

В общем случае временной ряд должен рассматриваться состоящим из четырех компонент: а) тренда или долгосрочного движения, б) более или менее регулярных колебаний относительно тренда, в) сезонной компоненты, г) остатка или несистематического случайного эффекта. При этом основная задача состоит в определении

тренда и сезонной компоненты. Если представить временной ряд в виде, например, аддитивной модели: $F(t) = T(t) + S(t)$

где $T(t)$ представляет собой тренд, $S(t)$ – сезонная компонента, то появляется также возможность краткосрочного прогноза деформаций.

Трудность заключается в том, что тренд обычно задают гладкой функцией, т.е. непрерывной и дифференцируемой функцией времени. Оползнеопасный блок, как правило, в результате интенсивных экзогенных воздействий испытывает необратимые смещения, происходящие за короткие промежутки времени. Аналитически описать такую функцию достаточно трудно. Поэтому в данной работе основной акцент сделан на определение сезонной компоненты. Под сезонными деформациями будем понимать все составляющие, связанные с влиянием любых экзогенных факторов, с периодом близким к одному году. К примеру, многие геофизические ряды имеют ярко выраженную несинусоидальную форму, однако содержат одни и те же характерные особенности, появляющиеся примерно в одни и те же месяцы /3,4/. Вычитание их из временных рядов дает нам выделенный тренд.

Для выделения сезонной компоненты в нашем случае удобно использовать метод «среднего сезона» /3,4/. Условием применимости этого метода является постоянство свойств ряда, в частности, наличие фиксированной сезонной компоненты с постоянными или почти постоянными (т.е. повторяющимися каждый год) амплитудой, фазой и формой вариаций. В качестве функции-репера используется средний по всему ряду годовой ход, рассчитанный методом наложения эпох:

$$S(t) = \sum_{k=1}^N P(t + kT)$$

Таким образом, в качестве временных рядов рассматривается совокупность прецизионных измерений горизонтальных деформаций и вертикальных относительных превышений в течение 22 лет (1970-

1991 гг). Для выделения гладкой компоненты (тренда и краткосрочных колебаний) используется скользящее среднее, подсчитываемое на участке усреднения, равном одному году [2]. Отнимая полученную таким образом гладкую компоненту от исходного ряда получаем в остатке временной ряд сезонных деформаций.

Как и следовало ожидать, необратимые резкие подвижки и смещения, имевшие место в исходных рядах в 1972-1977 гг. привели к тому, что амплитуды сезонных колебаний в этот период оказались завышенными, поскольку они перешли в ряд сезонных перемещений. В последующем усреднении методом наложения эпох они исключались из рассмотрения. Расчетные значения средних сезонов приведены в таблице 1. Единица измерения – мкм/м или в безразмерных единицах деформации имеют порядок 10^{-6} . Знак «плюс» у горизонтальных деформаций означает сжатие, а у вертикальных превышений перемещение вверх. Знак «минус» соответственно – растяжение и перемещение вертикальных превышений вниз. Среднеквадратичные отклонения не превышают 10%.

Таблица 1

Расчетные значения средних сезонов

	Станция 1		Станция 2		Станция 3		Станция 4	
	деф	нив	деф	нив	деф	нив	деф	нив
Январь	-0,69	-7,54	-10,1	0,28	-0,33	-0,34	3,48	-3,18
Февраль	-0,76	-10,9	-14,3	-1,22	-0,31	-0,53	5,01	-6,66
Март	-0,47	-10,8	-12,3	-2,38	-0,23	-1,19	4,85	-7,50
Апрель	-0,12	-7,65	-7,80	-2,29	-0,16	-0,90	3,42	-6,50
Май	0,16	-2,81	-2,56	-1,62	-0,04	-0,64	1,31	-5,10
Июнь	0,48	2,95	3,43	-1,06	0,14	-0,24	-1,02	-2,61
Июль	0,69	8,17	8,61	0,01	0,32	0,49	-2,97	2,81
Август	0,77	11,01	13,1	1,03	0,41	1,08	-4,26	7,36
Сен-брь	0,67	11,29	13,54	2,33	0,33	1,56	-4,67	8,63
Октябрь	0,31	8,18	10,27	3,09	0,10	1,27	-3,99	7,26
Ноябрь	-0,13	3,66	3,99	2,45	-0,08	0,88	-2,54	4,99
Декабрь	-0,38	-3,19	-2,69	0,97	-0,20	0,58	0,56	1,48

Известно, что сезонные вариации регистрируются повсеместно [3,4,5]. Их амплитуда и характер изменения в течение года определяются годовым ходом температуры и их градиентом, количеством осадков, свойствами и водопроницаемостью пород, уровнем грунтовых вод, рельефом местности и т.д. Однозначная интерпретация затруднена ввиду многофакторности процесса. Считается, что если сезонные деформации имеют гармонический (синусоидальный) характер, то это является следствием влияния температуры. Если ход деформаций иной, но имеется ярко выраженный сезонный характер, то это связано с другими климатическими факторами. Наиболее информативным параметром являются амплитуды сезонных деформаций, которые в различных инженерно-геологических и гидрогеологических условиях имеют величину $10^{-7} \div 10^{-5}/5/$.

Анализ полученных результатов показывает, что сезонные компоненты имеют вид гладкой кривой по форме близкой к синусоиде. Это означает, что наши сезонные ряды можно в последующих работах подгонять функцией вида:

$$S(t) = A \cos(\omega t) + B \sin(\omega t)$$

где коэффициенты A и B подбираются на каждом шаге равном одному году.

При воздействии на массив сезонных нагрузок следует ожидать, что будут зарегистрированы взаимосогласованные упругие перемещения, особенно в пределах одной станции. Как видно из таблицы, не всегда имеется достаточно ясный, однозначный отклик на воздействие сезонных напряжений даже по приборам одной станции. Так вертикальные и горизонтальные деформации, регистрируемые приборами, находящимися на одной станции, могут существенно отличаться по величине. На станциях №1 и №3 преобладают вертикальные деформации, на станции №2, наоборот, горизонтальные, причем численные значения могут отличаться на порядок. Кроме того, следовало бы

ожидать, что при увеличении температуры будет происходить расширение массива, т.е. деформографы будут регистрировать растяжение. Фактически три из четырех деформографов(станции №1, №2, №3) зарегистрировали сжатие в летние месяцы и, соответственно, растяжение – в зимние, т.е. можно было бы сделать вывод о том, что прямой термический эффект не является определяющим. Однако, в то же время все нивелиры регистрируют в летние месяцы движение вверх, т.е. массив расширяется.

Чтобы показать, что в пределах одной станции сезонные перемещения являются согласованными, рассмотрим общее движение элемента среды единичной длины. Для протяженных склонов естественно предположить, что имеет место плоское деформированное состояние. Тогда более объективной величиной, отражающей воздействие сезонных нагрузок, будет полный вектор относительных перемещений, имеющий координатами горизонтальные и вертикальные относительные перемещения, которые регистрируются на каждой станции. Сложение взаимно перпендикулярных сезонных колебаний показывает, что результирующее движение, с учетом ошибок, может быть представлено прямой, т.е. оба колебания происходят в фазе. Косвенно об этом свидетельствует достижение максимумов и минимумов в одни и те же месяцы. Отметим также, что амплитуды полных смещений, за исключением станции №3 (что естественно, т.к. она расположена в ненарушенном массиве), сблизилась по величине (увеличились перемещения станции №4).

Качественно объяснить полученные результаты можно следующим образом. Кроме станции №3, все остальные расположены так, чтобы регистрировать перемещения разных берегов тектонических трещин и, кроме того, они находятся на различных расстояниях от свободной поверхности. Трещины пересекаются почти под прямым

углом, установленными на наблюдательных станциях штанговыми деформографами и гидростатическими нивелирами. Станция №1 находится на отметке 814 м в зоне влияния трещины 69. Трещина 69 тектоническая 3-го порядка, находится в зоне бортового отпора, угол падения 85° , азимут простирания $240-260^\circ$, наполнитель брекчия и глина трения. Она разделяет подвижный клин и подпорную стенку. Расстояние до свободной поверхности невелико. Станция №2 также расположена на отметке 814 м, но за станцией №1, в зоне влияния трещины 995 шириной 100-400 мм, угол падения $60-80^\circ$, азимут простирания $260-270^\circ$. Трещина отделяет подвижный клин от основного массива. Станция №4 располагается на отметке 870 м и приурочена к трещине 995 вблизи места её выклинивания на дневную поверхность, расстояние до которой составляет $5-10$ м. Станция №3 расположена на расстоянии $70-95$ м от свободной поверхности склона р. Нарын.

Рассмотрим, как поведет себя массив при годовом ходе температуры. Наибольшее воздействие будет оказано на приповерхностные слои горного склона. Это станции №1 и №4. Нивелиры фиксируют превышения на разных берегах трещин, которые к тому же не оказывают сопротивления этому перемещению. Поэтому здесь значительна вертикальная компонента, т.к. один берег трещины прогревается сильнее другого. Станция №2 находится в глубине массива, прогревание, как подвижного клина, так и основного массива происходит в основном за счет циркуляции воздуха по зияющей трещине 995. Кроме того, нивелир регистрирует превышения, которые в этом случае будут малы, посколькугреваются оба берега трещины. Горизонтальные же перемещения велики, поскольку расширение скальных пород приводит к смыканию берегов трещин.

Полученные результаты указывают, что сезонные деформации в основном обусловлены влиянием годового хода температуры. Поэтому заманчивая перспектива использовать амплитуды сезонных де-

формаций в качестве критерия устойчивости лишена оснований, поскольку температурные деформации не зависят от состояния поверхности скольжений. Полагалось, что амплитуды сезонных деформаций при одинаковых, повторяющихся из года в год, метеоусловиях и устойчивом состоянии массива будут оставаться постоянными. При ослаблении массива, возникновении новых поверхностей разрушения, амплитуды должны возрастать. Если принять амплитуду сезонных перемещений в начальный момент времени A_0 , а в любой другой последующий момент – A_t и обозначить $\Delta A(t) = A_t - A_0$, то критерий устойчивости по амплитуде сезонных деформаций будет иметь вид: $\Delta A(t) \leq 0$ - массив устойчив, $\Delta A(t) > 0$ - массив неустойчив [1/].

Таким образом, показано, что сезонные деформации в основном обусловлены влиянием годового хода температуры. Приведенные в работе «средние сезоны» могут быть использованы для краткосрочного прогноза регистрируемых перемещений. Отклонение регистрируемых величин от прогнозных будет означать, что наблюдаемый блок испытывает необратимые смещения и деформации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Степанов В.Я. Механика горных склонов. Бишкек: Илим, 1992. 192с.
2. Кендалл М., Стьюарт А. Многомерный статистический анализ и временные ряды. М.: Наука, 1976. 736с.
3. Дещеревский А.В., Журавлев В.И., Сидорин А.Я. Некоторые алгоритмы фильтрации для геофизических временных рядов // Физика Земли, 1996, № 2, с. 56-67.
4. Дещеревский А.В., Сидорин А.Я. Две модели сезонных вариаций геофизических полей // Физика Земли, 2000, №6, с.14-25
5. Латынина Л.А., Кармалеева Р.М. Деформографические измерения. М.: Наука, 1978. 154с.