

УДК 624.131

Полканов В.Н.<sup>1</sup>, Кырлан А.В.1, Полканова А.В.1

## Прогноз устойчивости склона реконструируемой автомобильной дороги Кишинэу-Унгень на участке "80-й км"

### Abstract

*The article presents the results of research carried out on the section of the reconstructed Chisinau-Ungheni motor road. The features of geomorphological conditions and geological structure of the study area, the strength properties of landslide accumulations are studied, the stability of the landslide slope is estimated, and the necessary recommendations for the design and construction of a motor road on the "80th km" section are developed.*

**Keywords:** motor road, slope, landslides, long-term stability.

### Rezumat

*În articol sunt prezentate rezultatele cercetărilor efectuate pe un tronson al drumului auto Chișinău-Ungheni. Au fost studiate caracteristicile condițiilor geomorfologice și structurii geologice a sectorului studiat., caracteristicile de rezistență a acumulărilor alunecătoare, sa determinat gradul de stabilitate a versantului alunecător, au fost elaborate recomandările necesare pentru proiectarea și construcția drumului auto pe sectorul "Kilometrul 80"*

**Cuvinte cheie:** drum auto, versant, alunecări de teren, stabilitate de lungă durată.

### Резюме

*В статье приведены результаты исследований, проведенных на участке реконструируемой автомобильной дороги Кишинэу-Унгень. Изучены особенности геоморфологических условий и геологического строения района исследования, прочностные свойства оползневых накоплений, дана оценка устойчивости оползневого склона, разработаны необходимые рекомендации по проектированию и строительству автомобильной дороги на участке "80-й км".*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, склон, оползни, длительная устойчивость.

### Введение

Строительство автомобильных дорог в Молдове, как правило, осложнено сильно пересеченным рельефом (рис. 1) и развитием опасных геологических процессов [1 - 6].

Это обстоятельство вынуждает проектировщиков устраивать глубокие выемки и высокие, более 20 м, насыпи, которые, нередко, подвергаются оползневым деформациям (рис. 2).

В связи с планируемой реконструкцией автомобильной дороги Кишинэу-Унгень, авторы, на основе проведенного исследования, высказали своё мнение о дополнительных задачах, на решение которых должны обратить внимание проектировщики и строители при принятии конструктивного решения.

---

<sup>1</sup>Технический Университет Молдовы



Рис. 1. Характер рельефа на участке проложения трассы Кишинэу-Унгень.



Рис. 2. Оползневые деформации на склоне, вызванные его подрезкой при строительстве автодороги Кишинэу-Унгень.

## **1. Особенности геоморфологических условий и геологического строения района исследований**

Главные черты рельефа на рассматриваемом участке проложения трассы обусловлены, в основном, неотектоническими движениями и особенностями геологического строения. Основой для формирования современного рельефа описываемого района послужила среднеплиоценовая аллювиально-аккумулятивная равнина, которая была дифференцированно приподнята в аттическую фазу альпийской складчатости на высоту более 300 м.

Положительные тектонические движения, усиление которых в районе Припутья отмечалось в плейстоцене, продолжаются и в настоящее время [7].

Выше современного базиса эрозии склоны водораздельного пространства сложены толщей среднего сармата, представленной алевритистыми глинами голубовато-серого цвета с присыпками и прослоями мелкозернистых песков. Породы имеют характерную пестроцветную окраску и представлены тонкослоистыми алевритистыми и комковатыми глинами с частым чередованием прослоев мелкозернистых кварцевых песков, иногда значительной мощности (более метра).

Первоначальное заложение склонов обусловлено почти исключительно эрозией, усиливающейся в результате неравномерных неотектонических поднятий. Речные долины закладывались в верхнеплиоценовое время. На границе плиоцен-четвертичного времени произошло обновление разломов, по которым и были заложены левые притоки Прута.

Для этого района характерны узкие извилистые водоразделы, глубокие плоскодонные долины больших и малых рек, значительная глубина эрозионного вреза, вызванная неотектоническим подъемом поверхности левого берега реки Прут и смещением главного водораздела, обусловившим его правостороннюю асимметрию.

Таким образом, в настоящее время процесс формирования склонов продолжается. Наиболее активной зоной развития оползней здесь являются их верхние крутые части. Оползневые процессы, развиваясь вверх по склону, захватывают новые участки водораздельного пространства. В нижней части склонов при отсутствии эрозии происходит постепенное их выполаживание и затухание оползневых деформаций.

Участок «80-ый км автодороги Кишинэу-Унгень, в г. Корнешть» пересекает верховье эрозионно-оползневого цирка, по которому протекает безымянный приток реки Делия (левый приток р. Прут).

Гыртоп имеет в плане характерную форму – в верховье расширенную, к низу сужающуюся.

Превышение бровки главного оползневого уступа над местным базисом эрозии составляет более 50 м. Крутизна на отдельных участках достигает 20-30°.

Несмотря на то, что в настоящее время естественный рельеф сильно изменен в результате хозяйственной деятельности (на склоне располагаются частные строения, а прилегающие к ним участки используются под сады и огороды), в современном рельефе прослеживаются три крупные оползневые ступени.

В связи с непрекращающимися оползневыми подвижками часть строений полностью разрушена. Активизации подвижек способствует эрозионная

деятельность ручья и хозяйственных вод, сбрасываемых с вышележащей территории к подножью склона и снижение прочности пород в процессе неоднократных оползневых смещений.

Активные оползневые деформации, развивающиеся в этой части, захватывают и участок автодороги. В средней части склона характер деформации усложняется за счет активных бортовых смещений.

В нижней части, распаханной под огороды и сады, наблюдаются медленно развивающиеся деформации по типу вязко-пластического течения.

## 2. Анализ устойчивости оползневого склона

Предварительная оценка и прогноз устойчивости исследуемого склона проводилась методом горизонтальных сил проф. Н.Н. Маслова. Расчеты выполнялись по различным схемам, отражающим инженерно-геологические особенности строения оползня и положение ослабленных зон, выявленных в процессе бурения.

Граница верхней ослабленной зоны (предполагаемая поверхность смещения активного оползня) была проведена по контакту пестроцветных оползневых накоплений с деформированной зоной голубовато-серых глин. Нижняя ослабленная зона – по контакту последних с подстилающими их горизонтально-слоистыми голубовато-серыми глинами. Для определения средних значений сопротивляемости сдвигу по всем ослабленным зонам принималось, что склон в целом находится в состоянии предельного равновесия (коэффициент устойчивости  $K = 1,0$ ). Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Средние значения прочности по поверхности оползневого смещения

Расчётная схема	Результаты "обратного расчёта"		Результаты лабораторных испытаний	
	Средняя прочность $S_m$ , кПа	Значения сцепления $C$ , кПа при $\varphi = 3^\circ$	Значения сцепления $C$ , кПа	Методика установления параметров прочности
П-I (головная часть оползня)	85,0	13,5	11,0	по подготовленной поверхности <i>для пестроцветных глин</i>
П-VI (верхняя ослабленная зона)	23,0	14,0	-	-
П-VI (нижняя ослабленная зона)	35,0	20,0	20,0	по подготовленной поверхности <i>для голубовато-серых глин</i>

Выполненные расчеты показали, что по нижней поверхности смещения действуют наибольшие сдвигающие усилия. Значение среднего сопротивления

сдвигу по этой поверхности практически совпадает со значением прочности глин, определенной в лаборатории по подготовленной поверхности сдвига. Учитывая, что процесс формирования склона будет продолжаться, возможно дальнейшее уменьшение прочности пород в этой зоне и, как следствие, оползневое смещение всего склона. Данный вывод подтверждается определением коэффициента длительной устойчивости ( $K_{дл,y}$ )[8]:

$$K_{дл,y} = \frac{S_0}{S_e} = \frac{2,2}{3,5} = 0,64,$$

где:  $S_e$  – среднее сопротивление грунта сдвигу по поверхности оползневого смещения, соответствующее современному состоянию склона;

$S_0$  – величина остаточного сопротивления грунта сдвигу, определенная по формуле:  $S_0 = 0,07\sigma + 4$ , кПа.

Значение коэффициента длительной устойчивости значительно меньше единицы. Это означает, что на склоне могут иметь место катастрофические оползневые смещения.

Так как на момент проведения изысканий наиболее активные оползневые деформации визуально и по данным геодезических наблюдений отмечались в головной части оползня, в первую очередь определялся запас устойчивости именно этой части склона (по расчетной схеме II-I). Коэффициент устойчивости, полученный с использованием значений характеристик прочности грунтов по подготовленной увлажненной поверхности равен  $K_y = 0,87$ .

С целью оценки вероятности развития деформаций вверх по склону были выполнены расчеты устойчивости с учетом возможных заколов новых участков водораздела. Принималось, что ослабление прочности горных пород в отделяющемся массиве происходит за счет потери структурного сцепления, в расчетах использовали характеристики по подготовленной поверхности. Методом приближения выявлено, что для формирования профиля предельного равновесия, оползень может захватить новый участок плато на расстоянии порядка 60 м от существующей бровки срыва (расчетная схема III-I).

В связи с тем, что активные деформации отмечаются также и в нижней части оползня, устойчивость этой части склона определялась отдельно. Поскольку языкоползнья распахан под огороды и получает дополнительное увлажнение за счет полива, при расчете коэффициента устойчивости использовались значения прочностных характеристик по подготовленной увлажненной поверхности. При этих значениях характеристик прочности коэффициент устойчивости равен  $K_y = 0,93$ .

Окончательные расчёты проводились на основе численного метода снижения прочности с использованием программного комплекса PLAXIS[9]. Полученная с помощью МКЭ механико-математическая модель, подтвердила высказанное суждение о механизме развития оползневых деформаций на склоне.

### Выводы и рекомендации

1. Материалы, полученные в процессе исследований на участке „80-й км автодороги Кишинэу-Унгень”, свидетельствует о том, что верховье гыртопа, а также его борта, поражены активными блоковыми оползнями, развивающимися в пределах давнеоползневого склона. Активизации подвижек способствуют: эрозионная деятельность ручья и хозяйственных вод, сбрасываемых с вышерасположенной

территории к подножью склона; снижение прочности пород в процессе неоднократных оползневых смещений и дополнительного увлажнения.

2. Результаты расчетов устойчивости указывают на возможность максимальных подвижек в головной и языковой частях оползня, хотя деформации наблюдаются в пределах всего склона. Характер смещения указывает на криволинейную форму поверхности скольжения. Расчетами также установлена возможность развития оползневых деформаций вверх по склону в сторону водораздела.
3. Выполненные исследования дают основание считать оптимальным вариантом устройство земляного полотна автомобильной дороги на полке, врезанной в существующий верхний откос с устройством необходимых удерживающих сооружений. Одновременно следует предусмотреть работы по закреплению и благоустройству всего оползневого склона.

### Литература

1. Shaker R.R., Sirodov Gh., Sirodov I. Landslide susceptibility in the Republic of Moldova: a landscape and multivariate approach for regional assessment. In: Papers of the applied geography conferences, vol. 34. Kent State University, October 2011, p. 288-299.
2. Sîrodov Gh., Mițul E., Ignatiev L., Gherasi A. Baza de date „Alunecările de teren” a subsistemului „Geomorfologie” al SIG // Anualele ale universității “Al. I. Cuza” din Iași (serie nouă). Geografie (supliment). Lucrările simpozionului “Sisteme informaționale geografice”, 2000, Nr. 6, p. 49-53.
3. Леваднюк А.Т., Мицул Е.З., Сыродоев Г.Н. и др. Оползнеопасные территории Молдавии и их рациональное использование. Кишинёв: Штиинца, 1990, 122 с.
4. Народнохозяйственное освоение территории с развитыми опасными геологическими процессами в Молдавии: Тезисы докладов. Кишинев: Реклама, 1986. 72 с.
5. Полканов В.Н. Роль реологических процессов в развитии оползней на территории Молдовы. Кишинёв: Editura "Tehnică – UTM", 2013, 176 с.
6. Сударев А.П. Режим оползней Молдавии - основа организации и ведения мониторинга. Дис. ... кандидата геолого-минералогических наук. п. Зеленый, 2002, 124 с.
7. Палеография Молдавии /Бобринский В.М., Букатчук П.Д., Бургеля Н.К., Друмя А.В. и др./ Отв. ред. К.Н. Негадаев-Никонов. Кишинёв: Карта Молдовеняскэ, 1965, 146 с.
8. Тимофеева Т.А., Черненко Н.Б. Факторы, определяющие снижение прочности пород в зоне оползневого смещения. В: Исследования устойчивости геотехнических сооружений. Днепропетровск: ДИИТ, 1992, с. 53-57.
9. Кырлан А.В. Определение прочностных характеристик глинистых грунтов для обеспечения устойчивости откосов выемок с помощью программного комплекса PLAXIS. In: Buletinul Institutului de Geologie și Seismologie al AȘM, 2016, N2, с. 15-20.

*Primit la redacție – 08/12/2017*