

УДК 624.131

Полканов В.Н.¹, Кырлан А.В.1, Чебан О.С.1

Инженерно-геологическая характеристика оползневого участка "4-ый км автомобильной дороги Устия-Холеркань" в Центральной Молдове

Abstract

The results of a study of a landslide area located in Central Moldova on the 4th km of the Ustia-Holercani road are presented. The features of the engineering-geological structure of the physical and mechanical properties of the deluvial-landslide soils are studied. The reasons for the activation of the landslide are revealed and analyzed. The stability of the slope is estimated.

Keywords: landslide area, soil properties, deformation development forecast.

Rezumat

Sunt prezentate rezultatele cercetărilor unui lot amplasat în Centrul Moldovei la km-ul 4 al drumului auto Ustia-Holercani. Sunt studiate caracteristicile structurii geologico-ingenerești a proprietăților fizice și mecanice ale pământurilor deluviale alunecătoare. Au fost depistate și analizate cauzele activizării alunecărilor de teren. A fost estimată stabilitatea versantului.

Cuvinte cheie: teren alunecător, proprietățile pământurilor, prognozarea dezvoltării deformațiilor

Резюме

Приведены результаты исследований оползневого участка, расположенного в Центральной Молдове на 4-м км автомобильной дороги Устия-Холеркань. Изучены особенности инженерно-геологического строения физико-механических свойств делювиально-оползневых грунтов. Выявлены и проанализированы причины активизации оползня. Проведена оценка устойчивости склона.

Ключевые слова: оползневой участок, свойства грунтов, прогноз развития деформаций.

Введение

Обследуемый участок расположен в Центральной Молдове на 4-м км автодороги Устия-Холеркань. По проекту на рассматриваемом участке трасса должна быть проложена в верхней части правого залесенного потенциально опасного склона р. Днестр. Поверхность склона неровная: узкие, почти горизонтальные площадки, являющиеся, по-видимому, остатками эрозионно-денудационных террас, чередуются с крутыми уступами.

Строительство участка трассы может вызвать активизацию оползневых процессов. Это обстоятельство вызывает определённые трудности у проектировщиков [1, 2-4].

Проведённые исследования ставили своей целью выработку оптимального решения по устройству автомобильной дороги в пределах оползнеопасного участка.

¹ Технический Университет Молдовы

1. Краткие сведения о геоморфологических условиях и геологическом строении района исследований

В геоморфологическом отношении территория характеризуется как приподнятая денудационная равнина, начавшая формироваться в нижнем плиоцене [5].

Приподнятость территории в начале четвертичной эпохи обусловила значительную глубину вреза эрозионной сети. В результате размыва и расчленения первичной нижнеплиоценовой аллювиально-аккумулятивной равнины образовалась денудационная поверхность выравнивания, имеющая уклон в сторону р. Днестр и сохранившаяся на склонах в виде отдельных фрагментов. Прорезающая эту поверхность долина р. Днестр имеет резко асимметричное строение. Правый склон долины крутой, в нижней его части четко прослеживаются отдельные, почти горизонтальные поверхности, представляющие собой остатки надпойменных террас.

На склоне большое развитие имеют овраги. Одни из них врезаются в лёссовидные суглинки и обычно имеют крутые борта, другие – в глинистую делювиально-оползневую толщу, образовавшуюся, в основном, за счет разрушения пород сармата. В результате неоднократных оползневых смещений, борта оврагов приобрели характерные ступенчатые или выпуклые профили. Один из таких оврагов расположен на склоне, в непосредственной близости от исследуемого участка, на котором произошла активизация оползневого процесса в результате строительства насыпи автомобильной дороги.

На обследованном участке рельеф склона ступенчато-бугристый. Весь склон покрыт толщей делювиальных накоплений, представленных глинисто-мергелистыми отложениями с включением больших глыб известняка.

Очевидно, известняки залегают в верхней части склона, бронируя его. Толща их неоднородная, содержит слабые глинисто-мергелистые прослои, которые легче и быстрее выветриваются и разрушаются, в результате чего прочные разновидности известняков создают нависающие карнизы, которые затем обрываются и сползают вниз по склону вместе с глинистой массой.

Геодинамические процессы развиваются в средне-сарматских, плиоценовых и нерасчлененных плиоцен-четвертичных отложениях, вскрываемых современным эрозионным врезом.

Краткое геологическое строение участка приводится по данным фондовых материалов Управления геологии.

Среднесарматские отложения представлены двумя толщами. Нижняя, известняковая, достигает мощности 100–120 м. К юго-западу мощность известняков сокращается до 5 м. Верхняя толща сложена глинами с прослоями песков, мергелей; в нижней части отмечаются прослои оолитовых известняков и известняков-ракушечников. Мощность прослоев непостоянна, изменяется от 0,5 до 30 м. На обследованном участке эти отложения слагают коренной склон.

За пределами участка, на водораздельных пространствах, развиты верхнесарматские отложения, представленные глинами зелеными, серовато-зелеными, пятнистыми, с прослоями песка и известняков-ракушечников. Песчаные прослои содержат включения дресвы известняков-ракушечников и песчаников. Верхняя часть толщи сложена глинисто-мергелистыми породами с прослоями гравия, галечника, известняков-ракушечников.

Таким образом, вся толща сарматских отложений крайне неоднородна. Глинистые породы легко подвергаются процессам выветривания и смещаются вниз по склону, поэтому составляют основную массу делювия, покрывающего крутой правый склон Днестра. В результате выветривания известняки, залегающие на глинах, образуют нависающие карнизы. Они разрушаются и скатываются вниз по склону в виде глыб размером до 2,0 м. Состав и мощность делювия изменяются по площади в результате различной степени выветрелости пород.

Отложения палеогена представлены, в основном, аллювием речных террас. Четвертичные отложения представлены континентальными образованиями (суглинками, песками), а также делювиально-оползевыми и элювиальными образованиями.

Гидрогеологические условия довольно сложные. Выдержанный водоносный горизонт отмечен в средне-сарматских известняках. Выходы подземных вод на склоне приурочены к этим отложениям. Для вышележащих пород характерны подземные воды, приуроченные к линзам и прослойкам песка.

Таким образом, имеющиеся геологические материалы позволяют предположить, что эрозионная поверхность среднесарматских известняков покрыта плащом перемятых аллювиальных и делювиально-оползевых накоплений, в толще которых происходят активные оползневые деформации [6, 7].

Толща делювиально-оползевых накоплений сложена тяжелыми, комковатыми суглинками, ближе к подошве – с прослоями гальки, гравия, дресвой известняка; встречаются глыбы известняка мощностью до 2,0 м. Подстилают их глины, в верхней части склона – известковистые, с включениями ракушек. Общая мощность вскрытых делювиально-оползевых накоплений в верхней части разреза – 18,5 м; в средней – 22,0 м. Коренные отложения вскрыты не были.

2. Физико-механические свойства делювиально-оползевых грунтов

Исследования физико-механических свойств грунтов выполнялись в лабораторных условиях на монолитах, отобранных в процессе бурения скважин, расположенных в пределах активного оползня и за его границами.

Полный комплекс физико-механических испытаний выполнен для делювиально-оползевых грунтов как основной толщи, в которой происходят оползневые подвижки. Для суглинков были определены основные физические характеристики и выполнены сдвиговые испытания.

Делювиально-оползевые грунты, весьма неоднородны по своему составу и представлены комковатыми, пестроцветными глинами, с частыми включениями гальки, гравия, дресвы известняков, гнездами бурого суглинка и песка разной крупности: иногда ожелезненного, со стяжениями карбонатов (в диаметре 4...5 см).

Прочностные характеристики делювиально-оползевых грунтов определялись на образцах естественной влажности по методике быстрого сдвига на одноплоскостном срезном приборе. Сдвиг выполнялся при трех значениях вертикального давления ($\sigma = 100, 200$ и 300 кПа). Испытания проводились при каждом давлении по 3-м схемам: на образцах ненарушенной структуры, по подготовленной и подготовленной увлажненной поверхности сдвига.

Опытами на сдвиг по подготовленной и подготовленной увлажненной поверхности в лабораторных условиях моделировали влияние на прочность пород трещиноватости и увлажнение по ослабленным зонам.

Изменения физических и прочностных характеристик делювиально-оползневых грунтов по глубине показаны на рис. 1-2.

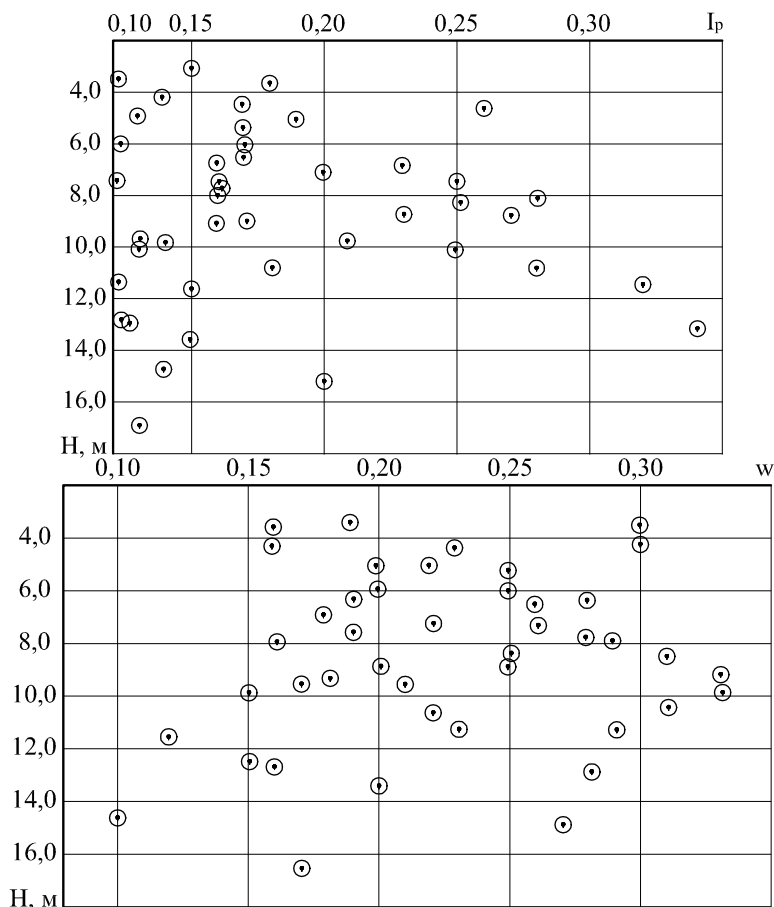


Рис. 1. Изменение числа пластичности и значений естественной влажности по глубине.

Как видно из рисунков, в изменении характеристик по глубине закономерности не наблюдается, и вся толща может быть отнесена к одному ИГЭ.

Была предпринята попытка получить зависимость сопротивления оползневых грунтов сдвигу от числа пластичности, как характеристики состава пород (рис. 3).

Для делювиально-оползневых грунтов данного участка такая зависимость не выявлена.

Не наблюдается зависимости изменения прочностных характеристик делювиально-оползневых грунтов от влажности (рис. 3), изменяющейся для испытанных образцов в широких пределах (10...33 %).

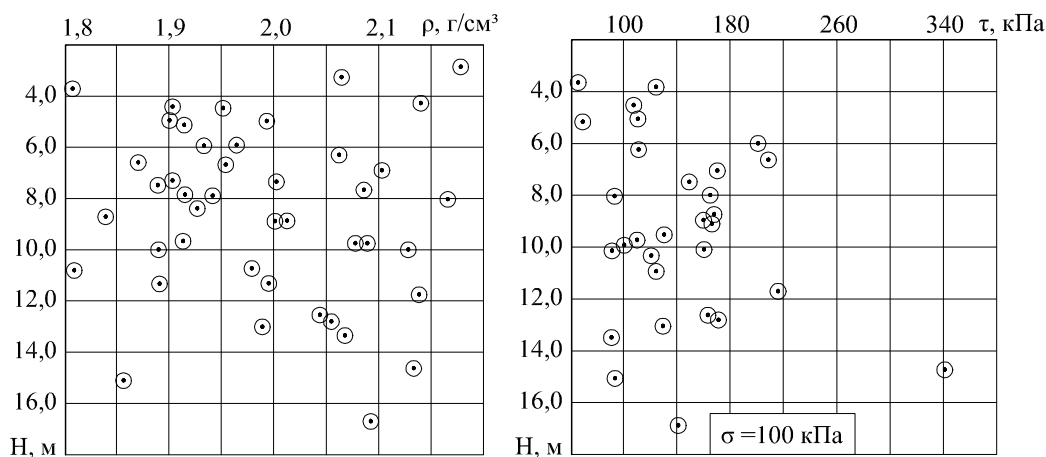


Рис. 2. Изменение характеристик прочности и плотности по глубине

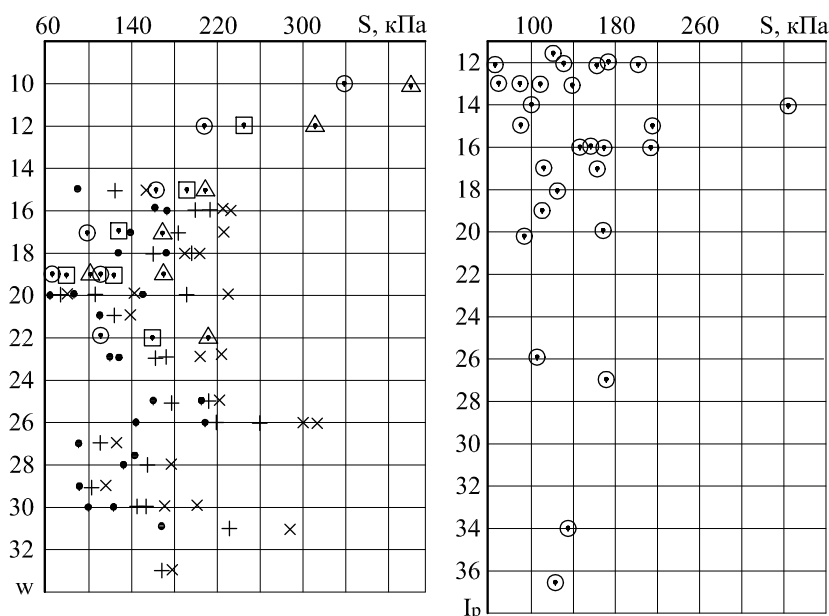


Рис. 3. Изменение прочности грунтов от влажности и числа пластичности.

- ⊙ – сопротивление грунтов сдвигу ненарушенной структуры при $\sigma = 100$ кПа;
- ⊠ – сопротивление грунтов сдвигу ненарушенной структуры при $\sigma = 200$ кПа;
- △ – сопротивление грунтов сдвигу ненарушенной структуры при $\sigma = 300$ кПа;

В то же время, при примерно одинаковых значениях влажности и плотности наблюдается значительный разброс значений сопротивляемости сдвигу образцов грунта ненарушенной структуры: при $\sigma = 100$ кПа значения прочности изменяются в пределах: $S = 62 \dots 217$ кПа; при $\sigma = 300$ кПа: $S = 112 \dots 310$ кПа. То есть, в изменении прочности делювиально-оползневых глин ведущая роль принадлежит наличию и направленности поверхностей ослабления.

Отсутствие каких-либо закономерностей в изменении сопротивления грунтов сдвигу позволило провести статистическую обработку полученных результатов и

определить нормативные и расчетные значения прочностных характеристик делювиально-оползневой толщи и прочности пород в зоне оползневого смещения.

Для ненарушенной структуры получено уравнение: $S = 0,34\sigma + 101$, кПа.

Для зоны оползневого смещения обработка результатов сопротивления сдвигу проводилась по среднеминимальным значениям.

Полученная зависимость прочности при испытаниях по ненарушенной структуре выражается уравнением: $S = 0,25\sigma + 69$, кПа.

Аналогичные зависимости получены для подготовленной и подготовленной увлажненной поверхности сдвига (табл. 1).

Таблица 1
Нормативные и расчетные значения параметров сопротивления грунта сдвигу

Тип глин	Вид испытаний	Нормативные значения		Расчетные значения при доверительной вероятности, равной			
				$\alpha_1 = 0,95$		$\alpha_1 = 0,85$	
		C^H , кПа	φ^H , Град	C_1 , кПа	φ_1 , град	C_{II} , кПа	φ_{II} , град
Делювиально-оползневые	Грунты, отобранные из зоны оползневого смещения						
	Ненарушенная структура	69	15	33	5	47	9
	Подготовленная поверхность сдвига	24	11	13	9	6	6
	Подготовленная увлажнённая поверхность сдвига	12	6	–	–	–	–
	Грунты оползневой толщи						
	Ненарушенная структура	101	19	88	16	93	17

Анализ полученных результатов подтверждает вывод о том, что на прочность делювиально-оползневых накоплений первостепенное значение оказывают наличие и направленность поверхностей ослабления, структурные особенности, степень сохранности первичного сложения.

3. Причины активизации оползня, прогноз оползневой опасности

Оценка оползневой опасности выполнялась на основе полученных значений прочностных характеристик грунтов, анализа геологического строения склона, выполненных расчётов [8].

Расчеты выполнялись по двум поверхностям смещения, установленным по данным бурения, методом горизонтальных сил Н.Н. Маслова (табл. 2).

Расчетные характеристики прочности приняты соответствующими подготовленной поверхности сдвига.

На основе полученных значений, а также по значениям, отвечающим остаточной прочности, были построены профили равноустойчивого откоса.

Анализ имеющихся геологических материалов и результатов расчетов показал, что еще до устройства насыпи, в периоды обильного выпадения осадков, устойчивость склона не обеспечивалась. На склоне происходили незначительные подвижки грунта в средней и верхней частях (в том числе и на участке устройства насыпи). Склон здесь еще не достиг предельного уположения. Устройство насыпи повлияло на устойчивость склона. Начавшиеся на нем деформации привели к ее разрушению.

Результаты расчетов устойчивости склона

Расчетная схема	Коэффициент устойчивости		Поверхность смещения
	вариант 1 (без учёта насыпи)	вариант 2 (с учётом насыпи)	
I-I	0,98	0,89	без контрбанкета
II-II	0,87	0,86	без контрбанкета
III-II	0,9	0,86	без контрбанкета
III-II	0,9	0,87	с малым контрбанкетом
III-II	0,9	0,87	с большим контрбанкетом
Нижняя часть склона	0,83	-	-

Примечание: принятые характеристики $\varphi = 6^\circ$; $C = 12,0$ кПа; $\gamma = 19,8$ кН/м³.

Если принимать одинаковые граничные условия, глубина расположения поверхности смещения практически не влияет на изменение запаса устойчивости.

Языковая часть активного оползня не достигает подошвы склона и является неустойчивой. Во время рекогносцировочного обследования этого участка наблюдались глубокие трещины, разделяющие отдельные смещающиеся блоки.

Предлагаемый проектировщиками контрбанкет не повышает запас устойчивости до необходимых значений, поскольку будет “висячим” сам откос контрбанкета крутой, его устойчивость не обеспечена.

Сравнение профиля равноустойчивого откоса с существующим рельефом показало, что в верхней и средней части склона деформации будут продолжаться до тех пор, пока не произойдет его предельное уположение.

Выводы и рекомендации

Результаты выполненного исследования легли в основу корректировки проекта строительства участка автомобильной дороги. Проектировщикам рекомендовано:

- уточнить геологическое строение верхней части склона выше существующей объездной дороги до плато и обосновать расчетные схемы;
 - уточнить значения расчетных прочностных характеристик оползневых грунтов;
 - рассчитать профиль равноустойчивого откоса и в соответствии с ним выполнить планировку в активной до настоящего времени нижней части оползневого склона;
 - установить сеть реперов для наблюдения за динамикой оползня;
 - на основе технико-экономического сравнения вариантов устройство автодороги выявить оптимальный в условиях перспективной застройки территории.
- Для сравнения принять:
1. устройство защитных мероприятий для всего склона;
 2. устройство удерживающих конструкций для обеспечения устойчивости только насыпи;
 3. строительство на рассматриваемом участке эстакады.

Литература

1. Добров Э.М., Аксенов А.И., Львович Ю.М. и др. Методические рекомендации по противооползневым мероприятиям на автомобильных дорогах в условиях Молдавии. М.: Союздорнии, 1975. 58 с.
2. Маслов Н.Н., Полканов В.Н. Обоснование противооползневых мероприятий при строительстве автодорог Молдавии // Вопросы геотехнического обеспечения дорожного строительства: Сб. научн. тр. МАДИ. М.: МАДИ, 1986. С. 30-43.
3. Оценка инженерно-геологических условий и расчет устойчивости склонов и откосов при проектировании земляного полотна в сильнопересеченной местности. В: Труды СОЮЗДОРНИИ, 1980. 163 с.
4. Полканов В.Н., Полканова А.В. Опыт изучения инженерно-геологических условий устойчивости склонов и откосов искусственных сооружений. Кишинёв: ТУМ, 2017. 184 с.
5. Геологическая изученность СССР, том 44. Молдавская ССР /Глав. ред. Д.В. Наливкин/. Кишинёв: Штиинца, 1961. 92 с.
6. Золотарев Г.С. Рогозин А.Л. Закономерности формирования склонов Днестра и методика прогноза их переработки при нестационарном уровненом режиме водохранилищ. В: Инженерная геология, 1976, №6. С. 47-63.
7. Максимов М.М. Опыт исследования активности оползней при составлении прогнозной карты Центральной Молдавии. В: Труды ВНИИ гидрогеологии и инженерной геологии, 1978, № 119. С. 23-28.
8. Маслов Н.Н. Механика грунтов в практике строительства (оползни и борьба с ними). М.: Стройиздат, 1977. 320 с.

Primit la redacție – 08/12/2017