

УДК 528.32

Тимченко О.М., канд. техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПОЛЗНЕВЫХ ПРОЦЕССОВ НА СКЛОНАХ ЗАКАРПАТЯ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

Аннотация. В статье рассмотрены особенности исследования оползневых процессов на склонах Закарпатья фотограмметрическими методами.

Объект исследования – оползневые смещения на Солотвинской впадине.

Цель работы - определение оползневых смещений на Солотвинской впадине с помощью фотограмметрических методов и экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам.

Метод исследования - фотограмметрический метод определения оползневых смещений.

Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования - разработка методики наблюдений за оползневыми процессами фотограмметрическими методами.

Ключевые слова: исследование, оползневой процесс, смещение, фотограмметрический метод.

УДК 528.32

Тимченко О.М., канд. техн. наук

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗСУВНИХ ПРОЦЕСІВ НА СХИЛАХ ЗАКАРПАТТЯ ФОТОГРАММЕТРИЧНИМИ МЕТОДАМИ

Анотація. В статті розглянуто особливості дослідження зсувних процесів на схилах Закарпаття фотограмметричними методами.

Об'єкт дослідження – зсувні зміщення на Солотвинській западині.

Мета роботи – визначення зсувних зміщень на Солотвинській западині за допомогою фотограмметричних методів і експериментальна оцінка точності визначення зсувних зміщень за наземними фотознімками.

Метод дослідження – фотограмметричний метод визначення зсувних зміщень.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка методики спостережень за зсувними процесами фотограмметричними методами.

Ключові слова: дослідження, зсувний процес, зміщення, фотограмметричний метод.

UDC 528.32

Тумченко О.Н., Ph.D.

RESEARCH OF LANDSLIDE PROCESSES ON THE SLOPES OF ZAKARPATTIA BY METHODS OF PHOTOGRAMMETRY

Abstract. In the article the features of research of landslide processes are considered on the slopes of Zakarpattya by methods of photogrammetry.

Object of the study – landslide distortions on Solotvynskoy mountain trench.

Purpose of the study – to determine landslide distortions on Solotvynskoy mountain trench by methods of photogrammetry and experimental estimation of positioning accuracy of landslide distortions after surface photos.

Method of the study – method of photogrammetry for determination of landslide distortions.

Forecast assumptions about the object of the study – to develop observing technique of landslide processes by methods of photogrammetry.

Key words: research, landslide process, distortion, method of photogrammetry.

Постановка проблеми

За последние годы Украина понесла существенные материальные и человеческие потери от растущего негативного влияния опасных геологических процессов естественного и техноприродного генезиса. Суммы прямого ущерба составляют около 300 млн грн. [1]. Поэтому необходимо предупреждать развития опасных геологических процессов, среди которых наиболее распространенными и разрушительными на территории Украины являются оползневые процессы.

Активизация оползней во многих регионах имеет разрушительный, а иногда катастрофический характер. Только за последние годы от оползневых процессов пострадали горные районы Закарпатской области, многочисленные

объекты в Автономной Республике Крым, здания в городах Днепре, Каменске, Черновцах, Луганске и многих других населенных пунктах. Это создает постоянную угрозу возникновению чрезвычайных ситуаций техногенного и естественного характера, а также опасность для здоровья и жизни людей.

Предупреждение оползневых процессов позволит избежать огромных расходов в сравнении с ликвидацией их последствий. Несовершенство методов оценки степени оползневой опасности и надежности расчетов противооползневых сооружений приводит к тому, что требования строительных норм не всегда выполняется, в результате чего количество аварий и катастроф от оползней увеличивается. Это определяет актуальность работ по усовершенствованию методов расчета оползневой опасности и эффективности инженерной защиты территорий и сооружений.

Анализ последних исследований и публикаций.

Как отмечают исследователи [1-7], несмотря на определенные достижения в понимании механизмов оползневых процессов разных типов и при наличии возможности проведения расчетов с помощью численных моделей, прогнозирование начала катастрофического быстрого движения и соответствующего распространения оползневых масс и до сих пор кажется чрезвычайно тяжелым. То есть ответ на основной вопрос, когда и с какими параметрами состоится разрушение склона и будет ли оно иметь катастрофические последствия, зависит от многих факторов, которые можно получить на основе опыта, использования аналогов в оползнеопасных местах с похожими условиями, анализа результатов мониторинга. Ни один из этих подходов не является безошибочным, и потому часто они используются все вместе.

Изучением оползневых смещений в горных регионах Украины занимались многие авторы, среди них можно выделить Билеуша А.И., Емельянову Е.П., Герасимчука В.А., Круцька М.Д., Ерыша И.Ф., Саломатина В.Н., Казарновского В.Д., Коробанову И.Г., Рудько Г.И и др. Также многие организации проводили изыскания на оползневых участках вдоль автомобильных дорог.

Службой автомобильных дорог в Закарпатской области разработана Программа инженерной защиты автомобильных дорог с привлечением научно-исследовательских проектных институтов и применением современных строительных материалов и новейших технологий, определены первоочередные меры относительно ремонта аварийных участков автомобильных дорог. Однако

каждый оползень имеет свои особенности и требует индивидуального подхода. На данное время не существует точных моделей нарушения стойкости склонов и требуются достоверные начальные данные для оценивания оползней и их активности. Такие данные могут быть получены за счет исследования оползневых склонов фотограмметрическими методами, которые дают высокую точность начальных данных.

Таким образом, целью исследования является определение оползневых подвижек на Солотвинской впадине с помощью фотограмметрических методов и экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам.

Основные результаты исследований.

Солотвинская впадина – один из активных оползневых районов на склонах Закарпатья. Первое полное всестороннее изучение впадины и прилегающих территорий было выполнено под руководством профессора Золотарева Г.С. в 1952 – 1956 гг. [8]. В дальнейшем исследования оползневых процессов на склонах Закарпатья проводились такими исследователями как Ерыш И.Ф., Рудько Г.И., Круцьк М.Д., Герасимчук В.А.

Основной оползневой участок впадины представляет собой древний оползневой цирк с глубокими оврагами по бортам. Выше бровки впадины – пологое плато с абсолютной отметкой 118 м. Крутая стенка срыва высотой более 10 м удалена от железной дороги на 240 м. Тело оползня состоит из трех блоков: один – под насыпью железной дороги, два – выше нее. Оползневые накопления – глины средневерхнеюрского возраста. Максимальная мощность оползневых накоплений 55 м, под железнодорожной линией 20-25 м.

Геологическое строение впадины по данным бурения:

- глауконитовые песчаные мергели мощностью 25 м;
- темные глины с прослойками сидеритов и известковистых песчаников мощностью 25 м;
- мелкозернистый песок мощностью до 4 м ниже уровня меженных вод р. Латорица.

Основные причины оползнеобразования по Г.С. Золотареву [8]:

- 1) общий наклон поверхности темных глин к р. Латорица;
- 2) чередование водопроницаемых и водонепроницаемых слоев;
- 3) наличие подземных вод;

4) многочисленные трещины во впадине, способствующие проникновению внутрь атмосферных вод;

5) сотрясение от движения поездов.

Основными факторами оползнеобразования являлись водоносный горизонт в прослое песчаников на отметке $H_{абс}=46$ м и напорный водоносный горизонт в толще песков, имевший гидравлическую связь с р. Латорица в нижней части впадины. Для предотвращения влияния этих факторов во впадине были выполнены бетонированный контрбанкет, дренажные штольни, водоотводы для перехвата вод.

Со временем увеличился фильтрационный поток подземных вод со стороны коренного склона, что привело к увеличению гидростатического напора в тыловой части оползневой толщи. Произошло подтопление нижней части толщи оползня. В результате ухудшились физико-механические свойства грунтов. Оказывает влияние полив садов на плато впадины, водопроявление обнаружено на абсолютной отметке $H_{абс}=90-102$ м. Анализ влажности грунтов показал, что разгрузка этих вод происходит не только в зону основания стенки срыва, но и в толщу оползневых блоков. Оползневая масса находится в состоянии крайне неустойчивого равновесия, периодически происходят локальные оползневые смещения, а также просадки и провалы грунта на поверхности, что может быть следствием растворения и выщелачивания гипса в породах впадины. Таким образом, противооползневые мероприятия, осуществленные во впадине, не обеспечили стабилизации его положения, исследования оползневых процессов не потеряли своей актуальности [9].

Наблюдения за оползневыми процессами на Солотвинской впадине выполнялись геодезическими методами. В 1986 г. здесь впервые начато применение фотограмметрических методов для исследования оползневых процессов. На основном оползневом участке впадины стационарно закреплены два базиса фототеодолитной съемки: базис длиной 13 м в центральной части оползня, базис длиной 47 м на парапете берегоукрепления. Фототеодолитная съемка с малого базиса позволяет определить положение оползневых точек приборочной части косогора (отстояние до 200 м), позволяет вести наблюдения за центральной частью оползня и за проходящим здесь участком железной дороги. Так как впадина сильно задернована, то контролируемые точки закреплены металлическими штырями длиной 2,5 м, они заглублены в грунт на 2 м. На концах штырей – марки в виде металлических пластин с нанесенными на

них краской перекрестьями. Всего закреплено равномерно по площади оползневого участка порядка 40 контролируемых точек, произведена их окопка для лучшего опознавания на аэроснимках. Фототеодолитную съемку обеспечивают четыре контрольные точки на дальнем плане впадины (коньки крыш, цементный столб), имеется также сеть опорных геодезических точек, позволяющая контролировать стабильность положения контрольных точек и съемочных базисов в процессе исследований.

Наземная фотосъемка оползневого участка впадины выполняется фототеодолитом Photoe 1318 ежегодно в весенне-осенний период с интервалами в один-два месяца. Начиная с 2005 г. ежегодно весной производилась также аэрофотосъемка впадины.

Съемка выполнялась с самолета АН-2 аэрофотоаппаратами АФА-ТЭВ-35 и АФА-ТЭС-10М с фокусными расстояниями $f_k=350$ мм и $f_k=100$ мм в масштабах 1:1000 – 1:4000 соответственно. Оползневые смещения контролируемых точек определяются аналитически. Измерения координат точек по наземным и воздушным снимкам производятся на стетеокомпараторе СК 1818, влияние ошибок элементов внешнего ориентирования снимков учитывается по контрольным точкам с применением компьютерной техники.

Проведенные наблюдения показали, что в период с 2009 по 2012 г. оползневых подвижек во впадине не было. В 2013 г. отмечалось смещение отдельных контролируемых точек на величины 10-20 см в плане и 5-10 см по высоте вниз по склону, что явилось предвестником происшедшей затем активизации оползневых процессов. Так, в 2014-2015 гг. зафиксированы подвижки практически всех контролируемых точек. В районе точек 16, 17, 31, 10 произошел срыв земляных масс протяженностью до 20 м и порядка 5 м по высоте. Точка 16 попала в зону срыва и была впоследствии уничтожена.

Ниже приведена таблица смещений контролируемых точек по наблюдениям 2014-2015 гг. (табл. 1).

В ходе исследований была выполнена экспериментальная оценка точности определения оползневых смещений по наземным фотоснимкам. В разных частях оползневого участка закреплены четыре пары точек. Расстояния между точками каждой пары вычислялись по фотограмметрическим координатам и контролировались рулеткой.

Результаты оценки точности приведены в таблице 2.

Таблица 1 – Оползневые смещения

№ точек	24.05-28.10.2014			28.10.2014- 13.05.2015			13.05- 25.06.2015			25.06-15.08.2015		
	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см	ΔX, см	ΔY, см	ΔZ, см
1	3	8	1	4	15	13	-2	-4	-9	1	37	16
2	3	-14	-3	2	10	-3	-2	2	0	-1	2	0
3	-3	1	-6	-2	-9	1	4	26	0	-1	-28	0
4	0	-6	-23	-29	-63	-17	-7	7	-6	0	-3	3
5	1	-9	-26	-23	-97	-42	-2	3	-6	2	-6	-4
6	-6	-17	-26	-14	-94	-30	1	-4	1	4	5	-9
7	3	-1	3	-3	-1	-4	3	13	2	-3	-8	-3
8	-2	-8	-5	0	-5	0	-1	10	2	3	8	2
9	2	-3	-6	0	-5	3	0	4	0	1	4	3
10	-3	-32	-20	2	-3	4	2	17	-1	2	-15	1
11	-1	-10	-7	-1	0	4	0	11	0	5	-23	-5
12		-6	-4	4	4	-2	4	-31	-2	0	0	0
13	0	-13	-7	0	-10	-1	0	-6	5	1	6	1
14	-2	-1	-2	2	-3	-9	-3	-2	4	1	0	-2
15	2	-33	1	45	-153	-63	10	-12	-4	2	-14	-4
16	19	-477	-405	-8	-22	-2						-6
17	7	-6	-4	4	4	-2	4	-31	-2	0	0	
18		-13	-7	0	-10	-1	0	-6	5	1	6	0
19	-2	-1	-2	2	-3	-9	-3	-2	4	1	0	-2
20	2	-33	1	45	-153	-63	10	-12	-4	2	-14	-4
21	-4	-50	4	26	100	-12	4	-8	-6	2	2	-6
22	9	-35	-4	0	-2	-3	12	10	3	-4	-17	6
23	1	-3	-11	3	3	2	-1	-5	0	2	13	-5
24	0	-58	-5	39	-154	-59	4	-18	-14	3	9	4
25	17	-42	12	-3	18	-1	-9	-5	0	-11	1	0

Таблица 2 – Результаты оценки точности

№ точек	Отстояние, м	Измерение рулеткой, м	Определение по НФС, м <i>b</i> =15 м	Ошибка НФС, см	Предвычисленные ошибки, см
8-9	100	1,345	1,361	2	2
10-11	155	3,715	3,728	1	4
12-13	158	0,731	0,747	2	4
3-30	170	1,855	1,907	5	4

Ожидаемые ошибки наземной фототеодолитной съемки при определении оползневых подвижек вычислены по формулам [10]:

$$m_x = m_y \cdot \frac{x_1}{f}; \quad m_z = m_y \cdot \frac{z_1}{f}; \quad m_y = \frac{y^2 \cdot m_p}{b \cdot f_k} \quad (1)$$

Суммарная ошибка $m_s = \sqrt{m^2 X + m^2 Z + m^2 Y}$, x_1, z_1 – координаты точки на снимке; m_p – ошибка измерения продольного параллакса.

Точность определения координат оползневых точек по материалам аэрофотосъемки оценивалась в сравнении их с соответственными геодезическими координатами (табл. 3).

Таблица 3 – Точность определения координат оползневых точек

№ точек	Ошибки АФС, см			Предвычисленные ошибки, см $f_k=350$ мм; 1:m=1:1000		
	ΔX	ΔY	ΔZ	m_x	m_y	m_z
10	4	-2	12	2	1	8
11	1	2	-5			
12	2	0	-6			
Рельс	0	0	4			

Ожидаемые ошибки АФС вычислялись по формулам:

$$m_x = 2m \cdot m_q; \quad m_y = m \cdot m_q; \quad m_z = 1,7B^f m \cdot m_q, \quad (2)$$

где m – знаменатель масштаба АФС;

m_q – ошибка измерения поперечного параллакса;

B – базис съемки.

Выводы по исследованию

В дальнейших исследованиях предполагается составить банк данных по оползневым подвижкам на впадине, разработать математическую модель оползня, наметить пути своевременного прогнозирования подвижек, опасных для железнодорожного пути. Будет также разработана методика наблюдений за оползневыми процессами на впадине фотограмметрическими методами.

Литература

1. Круцик М.Д. Захист гірських автомобільних доріг від зсувів (на прикладах гірських регіонів України) / Круцик М.Д., Грицюк Л.В., Грицюк О.Л.; під ред. М.Д. Круцика. – Коломия: Друкарня ім. Шухевича, 2003. – 425 с.

2. Емельянова Е.П. Основные закономерности оползневых процессов / Е.П. Емельянова. – М.: Недра, 1972. – 310 с.

3. Герасимчук В.О. Гірські автомобільні дороги України // В.О. Герасимчук. – Коломия: Вік, 1998. – 352 с.
4. Билеуш А.И. Оползни и противооползневые мероприятия / А.И. Билеуш. – К.: Наукова думка, 2009. – 560 с.
5. Саломатин В.Н. Методы исследования режима оползней / В.Н. Саломатин, И.Ф. Ерыш. – М., 1980. – 49 с.
6. Казарновский В.Д. Защита горных дорог от опасных геологических процессов / Казарновский В.Д., Каримов Б.Б., Мурадов Х.Я.; под ред. В.Д. Казарновского. – К.: Логос, 1998. – 250 с.
7. Рудько Г.И. Оползни и другие геодинамические процессы горноскладчатых областей Украины (Крым, Карпаты): [монография] / Г.И. Рудько, И.Ф. Ерыш. – К.: Задруга, 2006. – 624 с.
8. Золотарев Г.С. Обвалы и оползни на горных склонах и их устойчивость / Г.С. Золотарев // Вопросы инж. геол. и грунтоведения. – М., 1968. – Вып. 2. – С. 184–202.
9. Экзогенные геологические процессы и явления / [Оспенников Е.Н., Труш Н.И., Чижов А.Б., Чижова Н.И.]; под общ. ред. В.А. Кудрявцева. – М., 1980. – 227 с.
10. Лобанов А.Н. Фотограмметрия / А.Н. Лобанов. – М.: Недра, 1983. – 550 с.

Рецензенти:

Савенко В.Я., д-р тех. наук, Національний транспортний університет.

Балашова Ю.Б., канд. техн. наук, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури.

Reviewers:

Savenko V.Ya., Dr. Tech. Sci., National Transport University.

Balashova Yu.B., Cand. Eng. Sci. (Ph.D.), Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture.

Стаття надійшла до редакції: **23.02.2017 р.**