


Правительство Республики Татарстан
Министерство информатизации и связи Республики Татарстан
Казанский (Приволжский) Федеральный университет

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОДЕЗИИ
И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ»

В рамках
ТАТАРСТАНСКОГО
НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО
ФОРУМА



3-4 СЕНТЯБРЯ 2014, КАЗАНЬ

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СКЛОНОВОЙ ЭРОЗИИ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО 3D СКАНЕРА

Гафуров А.М., Ермолаев О.П., Усманов Б.М.

Казанский федеральный университет, Казань, adark4u@gmail.com

Введение

Эрозионные процессы на распаханых склонах являются основной причиной антропо-генной деградации почв. Это связано с тем, что скорость природно-антропогенной эрозии может на порядок превышать скорость природного восстановления почв. Именно поэтому во всем мире уделяется столь много внимания изучению склоновой эрозии. Для этого разработан большой набор разнообразных методов регистрации эрозии. Обзору этих методов наблюдения за внутри-годовой и межгодовой эрозией посвящено множество работ (Голосов, 1986; Ермолаев, 2002; Заславский, 1983; Gregory, Walling, 1973).

Все методы имеют свои преимущества и недостатки. Стоит отметить, что по-прежнему не решены задачи количественной оценки интенсивности эрозии в различных звеньях временной гидрографической сети. Такое положение обусловлено большим разнообразием типов поверхностного стока, механизмов эрозии и возникающими в результате их действия морфологических форм эрозии на склонах.

В настоящее время появились новые технические возможности оценки почвенной эрозии. В частности, это наземные лазерные сканирующие устройства, позволяющие проводить дистанционную съемку эрозии на пашне с высочайшей точностью (доли мм) и недостижимой для традиционных замеров частотой (миллионы точек измерения). В России и других странах использование методов наземного лазерного сканирования для оценки почвенной эрозии в настоящее время находится на начальном этапе. Однако, методы НЛС позволяют фиксировать эрозионные изменения почвы в результате лесохозяйственной деятельности (Dabek и др., 2014), пожаров (Afana и др., 2010), срочные изменения почвенного покрова в результате деятельности ливней (Bechet и др., 2014), количественная оценка изменений берегов рек в результате флювиальных процессов на реках (O'Neal, Pizzuto, 2011). Стоит отметить, что методы НЛС одинаково эффективны для мониторинга и оценки не только микроручейковой и овражной эрозии (Регтоу и др., 2010), но и оползневых процессов (Dunning и др., 2009). В то же время, практически нет работ по оценке ручейковой эрозии на склонах за периоды талого и ливневого стока.

Постановка задачи

Наш доклад посвящен разработке методики использования НЛС для оценки склоновой эрозии. Приведены первые результаты такого рода наблюдений. В качестве тестового, нами был выбран обнаженный участок левого склона реки Казанки (г. Казань). Исследуемый участок имеет координаты 55°48.163' N, 49°9.102' E и средний уклон 31.5°, юго-западную экспозицию, средняя длина склона составляет 18 м и относительное превышение 9м. Склон имеет прямолинейную форму поперечного профиля. Площадь участка 0,07 га. Ниже почвенного слоя литология грунта представлена тяжелыми делювиально-солифлюкционными суглинками.

Выбор участка обусловлен возникновением микроручейковых комплексов в результате сильных ливневых осадков из-за отсутствия верхнего слоя почв в связи с работами по его благоустройству. Первые съемки были проведены в апреле-июне в 2012 г., а затем и осенью 2013 г. Весной 2013 г. склон был укреплен георешеткой, сверху засыпан слоем торфа толщиной 5-7 см и засеян газонной травой. Однако в большого слоя осадков осенью (сентябрь-октябрь) на склоне была зафиксирована микроручейковая эрозия.

В 2012 г. началась отработка методики сканирования эрозионных процессов и был отсканирован небольшой фрагмент склона «С». В 2013 г. для анализа были выбраны 2 незадернованных участка «А» и «В» (Рис. 1), визуально отличающихся интенсивностью протекания эрозионных процессов – на левом ручейковая сеть более густая, а сами русла морфо-логически выражены лучше. У подошвы участка оголилась георешетка.

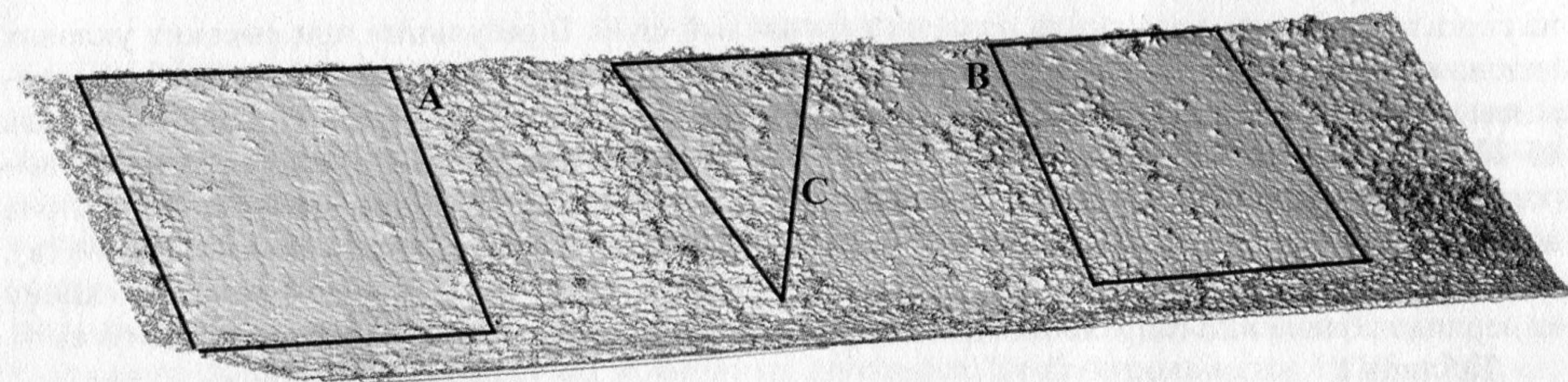


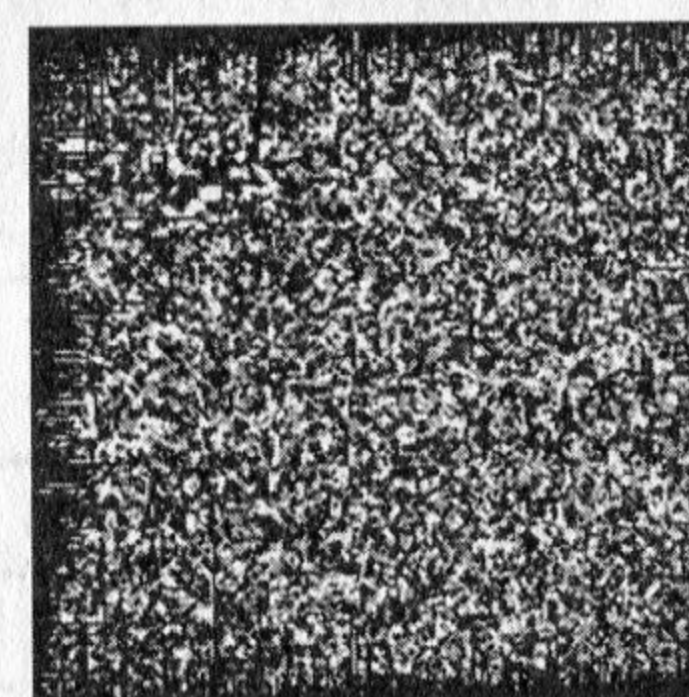
Рис.1. Фрагменты экспериментальных участков склона, выбранные для дальнейшего анализа (А, В – 2013 г., С – 2012 г.)

Материалы и методика

Постановка наблюдений. Для съемки нами был использован наземный лазерный сканер Trimble GX, сканирование проводится с помощью интерфейса программы Trimble PointScape. При изучении эрозионного склона сканер был установлен нами на расстоянии 30 м от объекта, использовался режим съемки fast (color), разрешение 15 мм на расстоянии 25 метров, осуществлялось 4 «выстрела» на одну точку. В результате были получены облака точек на каждую дату съемки.

Обработка результатов. Для обработки полученных данных было использовано программное обеспечение Trimble RealWorks 6.5. Эта программа позволяет выполнять сшивку сканов, редактирование полученных облаков точек и выполнять разного рода расчеты. Сшивка по маркам проводилась в полуавтоматическом режиме, после чего по облакам точек были составлены карты разностей за все промежутки времени между съемками (Рис. 2). Карты составляются путем проецирования на горизонтальную плоскость, размещаемую вдоль простираения склона.

а)



б)

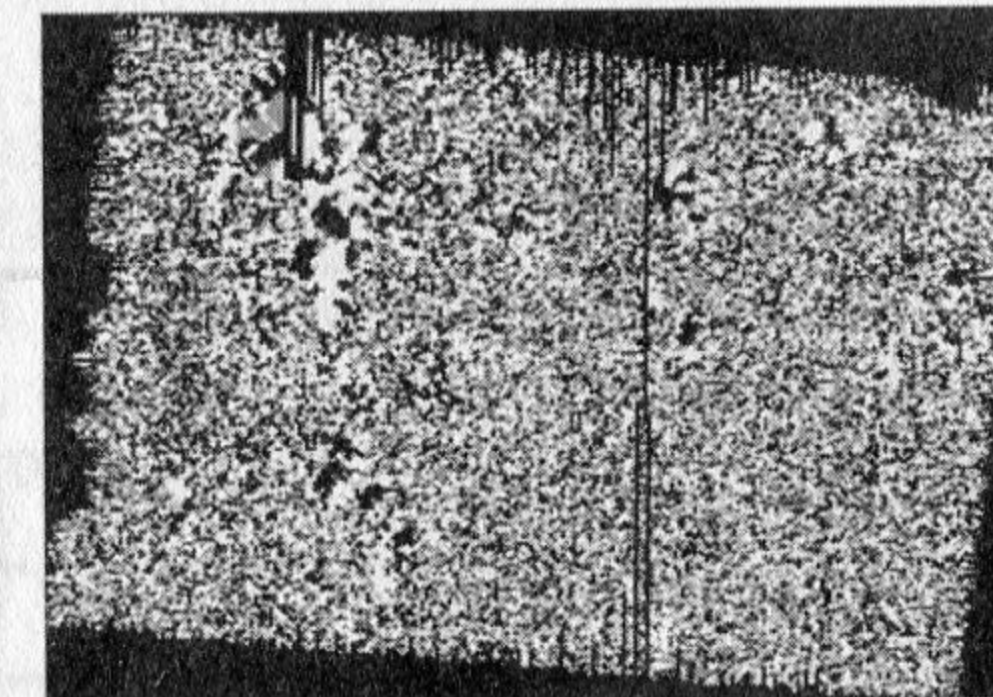


Рис.2. Пример карт разностей в средней части склона: а) участок Б, б) участок А.

Белый цвет – аккумуляция, черный – эрозия, серый – отсутствие изменений

в пределах точности сканера ($\pm 2,5$ мм).

Также определялись количественные характеристики эрозионно-аккумулятивных процессов в верхней, средней и нижней частях склона. Для этого вычислялось уменьшение-увеличение объема грунта ($V_-, V_+, \text{м}^3$) на исследуемом фрагменте склона. Затем, по площади участка (S), определялся слой эрозии (i_+)(1), аккумуляции (i_-)(2) в мм; преобладающий процесс (Δi)(3), а также объем смыва-аккумуляции ($E, \text{м}^3/\text{га}$)(4).

$$i_+ = \frac{V_+}{S}, \text{ мм}; (1) \quad i_- = \frac{V_-}{S}, \text{ мм}; (2) \quad \Delta i = \frac{V_+ - V_-}{S}, \text{ мм}; (3) \quad E = \frac{V_+ - V_-}{S} * 10000, \text{ м}^3/\text{га}. (4)$$

Результаты

Первый период наблюдений проведен в 2012 г. на склоне после завершения периода талого стока и первых двух весенних ливней, образовавших поверхностный сток. После талого стока, благодаря большой крутизне, высокой влажности и составу пород, по всему фронту средней и нижней части склона сформировались многочисленные оплывины. Их возникновение связано с солифлюкцией и оползнями. Эти процессы наблюдалось нами при таянии снега в марте (6.03-9.03) 2014 г. При высокой интенсивности снеготаяния, видимой пелены стока так и не было сформировано. В результате этого, в течение 3-4 дней склон в верхней и средней частях полностью освободился от снега. В то же время почва оттаяла лишь на 0,5-1,5 см. Поступающая

из снега вода сильно увлажнила почвенно-грунтовый слой. В результате при высоких уклонах склона он приобрел свойства текучести. В последующем почти все оползневые тела были размыты ливневым стоком в форме ручейковой эрозии. Максимальная ширина ручьев составляла 15-20 см, а глубина – 8-10 см. Анализ полученных результатов (Табл. 1) свидетельствует о высокой интенсивности идущих здесь экзогенных процессов. На участке в верхней части склона доминирует аккумуляция (3,5 мм или 57 т/га); в средней части денудация (4,1 мм или 66,1 т/га), в нижней части также преобладает денудация (4,3 мм или 68,4 т/га). В целом по всему склону за период наблюдений (апрель-июнь 2012 г.) слой денудации составил 0,6 мм (или 10,4 т/га).

Таблица 1
Результаты обработки съемки апрель-июнь 2012 г.

Части склона	S, м ²	V-, м ³	V+, м ³	V+– V-, м ³	i-, мм	i+, мм	Δi, мм	E, м ³ /га
Верхняя часть	18,3	0,041	0,106	+0,065	2,2	5,7	+3,5	+35,5
Середина	14,0	0,080	0,022	-0,058	5,7	1,6	-4,1	-41,4
Нижняя часть	7,7	0,040	0,007	-0,033	5,2	0,9	-4,3	-42,9
Весь склон	40	0,161	0,135	-0,026	4,0	3,4	-0,6	-6,5

Второй период наблюдений проведен осенью 2013 г. Среднюю плотность почвенного слоя можно принять 0,8 г/см³.

Осенью за период наблюдений (сентябрь-октябрь 2013 г.) выпал слой осадков 124 мм. Почвенный слой был уже сильно увлажнен осадками, выпавшими в сентябре. В таблице 2 приведены результаты определения эрозии и аккумуляции НЛС. На правом (В) участке склона во всех ее частях преобладает слабая аккумуляция, значения которой лежат в пределах точности сканирования. В среднем по всему этому участку аккумуляция составила 0,9 мм (≈ 7 т/га). На левом (А) же участке, наоборот, преобладает эрозия. Здесь средний слой денудации составил 2,4 мм или 19,4 т/га.

Таблица 2
Результаты обработки съемки НЛС 4 и 18 октября 2013 г.

Части склона	S, м ²	V-, м ³	V+, м ³	V+– V-, м ³	i-, мм	i+, мм	Δi, мм	E, м ³ /га
А верхняя часть	23,92	0,13	0,07	-0,06	5,4	2,9	-2,5	-25,08
А середина	26,07	0,12	0,05	-0,07	4,6	1,9	-2,7	-26,85
А нижняя часть	24,27	0,11	0,06	-0,05	4,5	2,4	-2,1	-20,60
А – весь склон	74,26	0,36	0,18	-0,18	4,8	2,4	-2,4	-24,23
В верхняя часть	39,24	0,09	0,12	+0,03	2,3	3,0	+0,7	+7,65
В середина	46,37	0,11	0,14	+0,03	2,4	3,0	+0,6	+6,47
В нижняя часть	41,06	0,09	0,14	+0,05	2,2	3,4	+0,8	+12,18
В весь склон	126,67	0,29	0,4	+0,11	2,3	3,2	+0,9	+8,68

Аккумуляция на участке В, по всей видимости, обусловлена волнистой формой поперечного профиля, слабым боковым притоком воды с общего водораздела, сохранившимися ареалами дернового покрова в верхней и средней части склона, препятствующие формированию стока. Видимых изменений в системе ручейковых размывов здесь не обнаружено. Перемещение масс почв и грунтов происходит в основном за счет их оплывания и кольматации. Эти процессы хорошо видны по боковым стенкам ручейковых размывов.

На участке А повсеместно развита денудация. Связано это с тем, что участок А почти идеальной прямолинейной формы поперечного профиля более обнажен, получает боковой приток воды, поступающей с верхней части общего водораздела и имеет общий уклон к реке Казанки около 3 град.

Заключение

Разработан новый метод количественной оценки интенсивности ручейковой и плоско-стной эрозии на склонах с помощью метода НЛС. Этот метод, обладая высокой точностью, ранее не возможной для других приборов, позволяет регистрировать разнообразные виды эрозии. Появляется возможность оценки денудационно-аккумулятивного баланса на склонах, определения динамики объемов перемещаемого материала в разных частях склона за различные события поверхностного стока, выявления пространственных закономерностей формирования ручейковых размывов. Кроме того, этот метод позволяет интегрально оценить суммарный эффект от протекания на склонах всего комплекса экзогенных процессов. Особую роль метод НЛС может сыграть в определении закономерностей развития овражных форм. Между тем, как и для любого другого метода, у него есть свои существенные ограничения: сканировать с высокой точностью можно лишь полностью обнаженные поверхности почв и грунтов, трудность при повторных наблюдениях на пашне (закрепление и сохранение реперов), учет требований к условиям съемки, и, как ни странно, иногда излишне высокая плотность сканирования.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке грантов РГО (проект №13-05-41126) и РФФИ (проект №14-05-00503).

Литература

1. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. М.: ГЕОС, 1986. 260 с.
2. Ермолаев О.П. Эрозия в бассейновых геосистемах. Изд-во «Унипресс КГУ», Казань. 2002. 265 с.
3. Заславский М.Н. Эрозиоведение. М.: Высшая школа, 1983. 320 с.
4. Afana, A., Sol-Benet, A., Perez, J.L. Determination of Soil Erosion Using Laser Scanners. 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World, 1 – 6 August 2010, Brisbane, Australia. Published on DVD, 2010, pp. 39-42.
5. Bechet, J., Duc, J., Jaboyedoff, M., Loye, A., and Mathys, N. Technical Note: Erosion processes in black-marls at the millimetre scale, the input of an analogical model, Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss., 11, 2014, pp. 2263-2275.
6. Dabek, P., Zmuda, R., Mielewski, B., Szczepanski, J. Analysis of water erosion processes using terrestrial laser scanning. Acta Geodynamica et Geomaterialia, 11(1), 2014, pp. 45-52.
7. Dunning, S.A., Massey, C.I., Rosser, N.J. Structural and geomorphological features of landslides in the Bhutan Himalaya derived from Terrestrial Laser Scanning. Geomorphology, 2009, 103(1), pp. 17-29.
8. Gregory, K.Y., Walling, D.E. Drainage basin form and process: a geomorphological approach. Edward Arnold Ltd., 1973. 458 p.
9. O'Neal, M.A., Pizzuto, J.E. The rates and spatial patterns of annual riverbank erosion revealed through terrestrial laser-scanner surveys of the South River, Virginia. Earth Surface Processes and Landforms, 36(5), 2011, pp. 695-701.
10. Perroy, R.L., Bookhagen, B., Asner, G.P., Chadwick, O.A. Comparison of gully erosion estimates using airborne and ground-based LiDAR on Santa Cruz Island, California. Geomorphology, 118 (3-4), 2010, pp. 288-300.