

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ МЕТОДОМ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ¹⁴

Веденева Е.А., Гафуров А.М., Ермолаев О.П., Усманов Б.М.
Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия,
busmanof@kpfu.ru

ASSESSMENT OF THE INTENSITY OF MODERN EXOGENOUS PROCESSES USING TERRESTRIAL LASER SCANNING

Gafurov A.M., Usmanov B.M., Vedeneva E.A., Yermolaev O.P.
Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, busmanof@kpfu.ru

В настоящее время существует большой набор методов для регистрации и оценки интенсивности экзогенных процессов, однако, ни один из методов не дает исчерпывающей информации по количественной характеристике и механизму опасных процессов на склонах. В данной статье для оценки опасности процессов, протекающих на склонах, был использован метод наземного лазерного сканирования (НЛС) позволяющий оперативно фиксировать изменения, происходящие в уже смещенных грунтовых массах и определить с высокой точностью реальную картину объемов переработанного грунта.

В России применение технологии наземного лазерного сканирования для мониторинга опасных экзогенных процессов не получило широкого развития, в то время как за рубежом НЛС активно используется в естественных науках, становясь важной составляющей ландшафтных исследований.

Технология лазерной съемки часто используется для решения практических задач, например, мониторинга оползней, которые представляют угрозу для безопасной эксплуатации транспортных коммуникаций, проходящих по склону. Для проведения подобного мониторинга применяются различные методики, в частности, "Stop and Go" [1], пространственная привязка данных, основанная на взвешенном преобразовании параметров для получения более точной информации [2].

Особенно эффективно использование НЛС при мониторинге ручейковой и плоскостной эрозии, что является принципиально важной задачей, поскольку на эти виды эрозии приходится более 2/3 поверхности склона и почти все площади распаханых земель [3]. Благодаря высокой производительности сканирующих систем вкупе с геодезическим обоснованием положения станции достигаются невозможные для традиционных методов результаты.

Внедрение НЛС часто сопровождается проведением различного рода экспериментов, направленных на изучение возможностей применения метода, оценку

¹⁴ Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-05-00503)

его точности, выявление преимуществ и недостатков. В качестве примеров можно привести разработку методики по фиксации смещений миллиметрового масштаба [4]; эксперимент с контролируруемыми осадками [5].

Наблюдательные участки. Для проведения работ по оценке интенсивности экзогенных процессов были выбраны несколько участков. Первый – Печищинский геологический разрез (рис. 1), который является естественным обнажением, вскрывающим классический разрез Пермской системы. Данный геологический объект сложен осадочными горными породами, имеющими невысокую твердость, поэтому происходящие здесь *процессы обваливания и осыпания* вызваны физическим выветриванием.



Рис.1. Участок Печищинского геологического разреза

Для наблюдения за *оползневыми процессами* было выбрано 2 участка береговой линии в п.г.т. Камское Устье – в районе старого кладбища и у пристани (рис. 2).



а)



б)

Рис.2. Наблюдательные участки в п.г.т. Камское Устье. а) "Старое кладбище"; б) "Пристань"

На участке «Старое кладбище» в результате действия оползневых процессов сформировался крупный оползневой цирк. Склон сложен делювиально-солифлюкционными суглинками. Юго-западная часть стенки срыва разрушает старое кладбище. Процессы на оползневом уступе протекают по типу обваливания.

На участке «Пристань» получили развитие не только оползневые, но и абразионные процессы. В верхней части склона, сложенной тяжелыми и средними делювиально-солифлюкционными суглинками, происходит обрушение и сползание блоков разного объема до уреза воды. В нижней части склона образуется абразионный уступ в результате размыва со стороны водохранилища.

Для изучения *склоновых эрозионных процессов* было выбрано два участка на левом склоне р.Казанка (рис. 3). Исследуемый склон, сложенный делювиально-солифлюкционными суглинками, имеет средний уклон 31.5 град., юго-западную экспозицию; средняя длина склона составляет 18 м. В методическом плане нас интересовала возможность изучения методами НЛС плоскостной и микроручейковой эрозии.

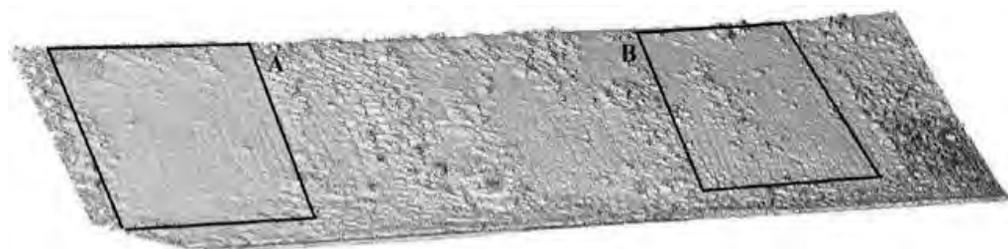


Рис. 3. Выбранный для оценки интенсивности эрозии склон на левом берегу р. Казанка

Методика. Работы по оценке интенсивности экзогенных процессов можно разделить на два этапа: полевой и камеральный. Полевые работы проводились с 2012 года. В качестве сканирующего прибора нами были выбраны НЛС Trimble GX и роботизированный тахеометр с функцией сканирования Trimble VX. Кроме того, на участке на левом берегу р. Казанка нами был использован сканер Trimble TX8. Несмотря на использование различного оборудования, методика проведения работ в целом сводится к следующему: для обеспечения повторности съемки разрабатывается сеть опорных точек-реперов, на основе которой происходит позиционирование НЛС, после чего производится сканирование интересующего нас участка. Плотность сканирования составила 30-50 мм для оползневых и осыпных процессов и 10-15 мм для эрозионного склона.

Камеральная обработка результатов сканирования производилась в ПО Trimble Realworks. Полученные облака точек приводились к одной системе координат, после чего производилась очистка сканов от артефактов. Далее вычислялись объемы потери и аккумуляции грунта методом вычитания разновременных облаков точек между собой во встроенной утилите Volume Calculation. За-

тем, по площади участка определялся слой эрозии, аккумуляции в мм, преобладающий процесс, а также объем смыва-аккумуляции [6].

Для количественной оценки переработки склона на оползневых и осыпном склонах была взята шкала, разработанная специально для оценки опасности развития склоновых процессов на водохранилищах [7].

Результаты. Результаты обработки измерений, полученных с помощью НЛС на Печищинском геологическом разрезе, позволяют нам оценить объемы переработки для верхней, нижней и средней частей склона. Отличие в составе горных пород обуславливает преобладающий процесс на разных частях склона. Так, в верхней и средней частях склона преобладает денудация (99,4 % и 71%, соответственно), а в нижней части – аккумуляция (96%). В целом для Печищинского разреза соотношение удельных показателей процессов денудации и аккумуляции примерно одинаково, 160 м³/га и 150 м³/га, соответственно.

По результатам двухлетних наблюдений за процессами, протекающими на оползневых склонах в н.п. Камское Устье, была оценена как их внутригодовая, так и межгодовая интенсивность.

На участке "Старое кладбище" за рассматриваемый период наблюдений установлено, что активность процессов в летне-осенний период значительно ниже, чем в осенне-летний. Кроме того, внутригодовая интенсивность оползневых процессов варьирует из года в год. Для периода наблюдений с июля 2012 г. по июль 2013 г. характерна более высокая интенсивность оползневых процессов по сравнению с периодом июль 2013 г. – июнь 2014 г.

На участке "Пристань" оползневые процессы идут активно и постоянно, причем, с помощью метода НЛС удалось зафиксировать и количественно оценить не только оползневые, но и абразивные процессы. Интенсивность протекающих процессов варьирует как из года в год, так и в зависимости от сезона.

Эрозионная активность на исследуемом фрагменте левого склона р.Казанка обусловлена в первую очередь выпадением осадков. В общей сложности было произведено 10 съемок, по результатам которых был установлен преобладающий процесс – денудация; в 2014 году для участка А среднее значение объема смыва составило -4,94 м³/га, для участка В аналогичный показатель составил -13,15 м³/га. Величины эрозии в период 26.05-5.06 2015 года для участка В составили 2,8 мм (28,80 м³/га), а в период 5.06-20.06 10,8 мм (107,7 м³/га). Заключительная съемка в 2015 году была произведена 23 ноября, при этом слой смыва на верхнем и среднем участке правой площадки составил порядка 7 мм (70,6 м³/га) и немного больше – 7,7 мм (76,84 м³/га) – на нижнем участке. В среднем по всей площадке слой смыва почвогрунтов составил 7,3 мм (73,3 м³/га). На левой площадке, вследствие выхода на поверхность защитной георешетки, играющей противозэрозионную и противопопзневую роль, величины эрозии оказались почти в 2 раза меньше правой: 3,9, 3,7, 3,8 мм для верхнего, среднего и нижнего участка, соответственно, в среднем составил 3,8 мм (37,69 м³/га)

Выводы. С помощью метода НЛС удалось количественно и качественно оценить интенсивность денудации, определить закономерность протекания процес-