

УДК 528.46

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ В ИССЛЕДОВАНИИ ЭКЗОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕРРИТОРИИ УДМУРТИИ

И. И. Григорьев, И. И. Рысин

*Удмуртский государственный университет, ул. Университетская, 1,
426034, г. Ижевск, Россия, ivanrigig@yandex.rurysin.iwan@yandex.ru*

Представлены современные геодезические технологии и результаты многолетних (2003–2023 гг.) исследований различных экзогенных процессов на территории Удмуртии. Современные методы исследования опасных экзогенных процессов включают комбинированное использование наземных геодезических измерений и аэрофотосъемок. Получены количественные показатели развития эрозионных процессов за многолетний период.

Ключевые слова: овражная и русловая эрозия; оползневой процесс; геодезические работы; аэрофотосъемка.

THE USE OF MODERN GEODETIC TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF EXOGENIC PROCESSES IN THE TERRITORY OF UDMURTIA

I. I. Grigoriev, I. I. Rysin

*Udmurt State University, Universitetskaya str., 1,
426034, Izhevsk, Russia, ivanrigig@yandex.rurysin.iwan@yandex.ru*

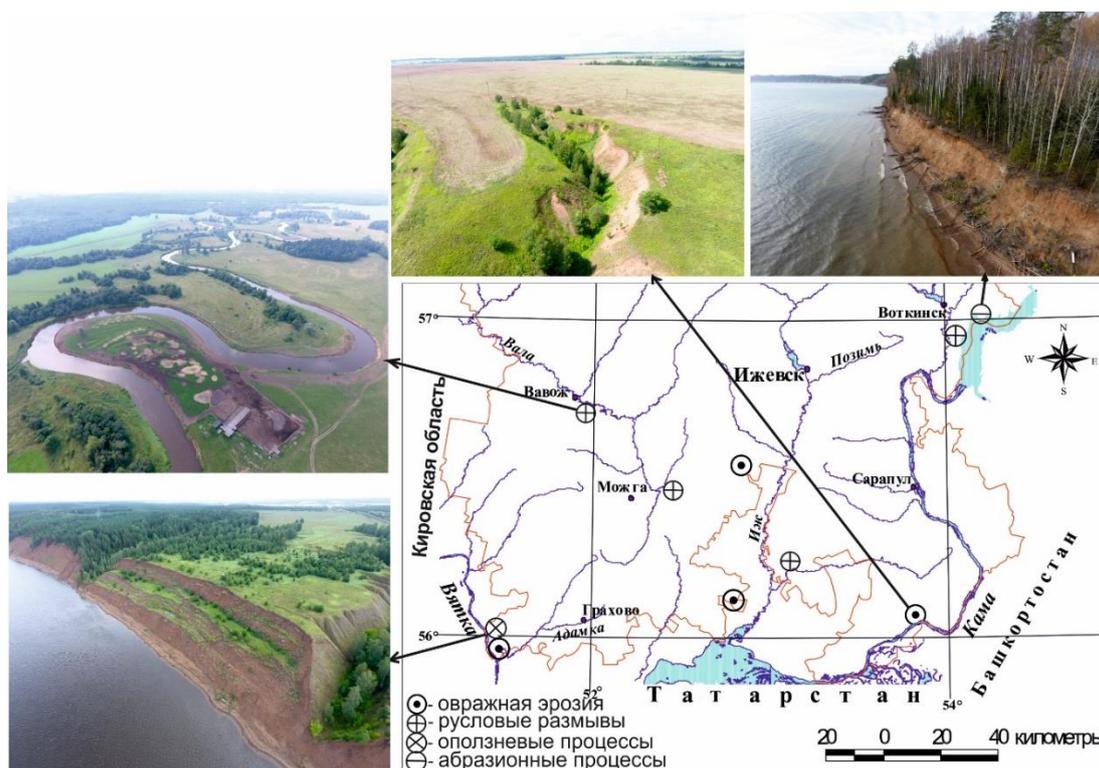
Modern geodetic technologies and the results of long-term (2003-2023) studies of various exogenic processes in the territory of Udmurtia are presented. Modern methods of studying dangerous exogenic processes include the combined use of ground-based geodetic measurements and aerial photography. Quantitative indicators of the development of erosion processes over a long period of time have been obtained.

Keywords: gully and channel erosion; landslide process; geodetic works; aerial photography.

Экзогенные процессы на территории Удмуртской Республики (УР) представлены различными видами (рисунок). Прежде всего выделяется активным развитием почвенная и овражная эрозия, русловые размывы берегов рек. Менее активно развиваются оползневые и абразионные процессы, крип и др.

Современные технологии исследования данных процессов для получения различных количественных показателей представлены главным

образом комплексом полевых и камеральных топографо-геодезических работ. Изучение овражной эрозии проводится нами с 1978 г. [1], исследования динамики русловых размывов, оползневых и абразионных процессов на нескольких ключевых участках ведутся с начала 2000-х гг. Проведение геодезических работ при изучении овражной эрозии выражается в выполнении топографической съемки оврагов, уступов при вершинах, их бровок и тальвегов с точностью порядка $\pm 0,01$ м. Путем ежегодного сравнения топографических съемок измеряется линейный прирост вершин оврагов и определяется характер изменений очертаний бровок и тальвегов в плане и по высоте. При изучении боковой русловой эрозии фиксируется точное положение бровки размываемого берега и линии уреза воды. Оползневые процессы на территории Удмуртии представлены на крупных реках (Вятка, Кама) и характеризуются чаще всего наличием большого количества относительно небольших блоков оползания. Очень важно зафиксировать положение этих блоков и определить объем всего оползневого тела.



Расположение участков по мониторингу экзогенных процессов на юге Удмуртии

Геодезические приборы для проведения данных работ регулярно совершенствовались. В период 1978-2002 гг. это были оптико-механические геодезические инструменты (теодолиты Т30 и 2Т30). С

2003 г. начали использовать электронные инструменты с лазерными дальномерами (тахеометры «Trimble 3305», затем «Nicon NPR-332») [2].

С 2019 г. для изучения эрозионных процессов на большинстве ключевых участков нами применяется спутниковый приемник «EFT» вместе с квадрокоптерами «DJI Phantom 4» и «Autel Evo II PRO». Снимки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) отличаются сверхвысоким пространственным разрешением и имеют высокую скорость получения. Имеются и определенные недостатки: время полета ограничено емкостью батареи (20-30 минут в зависимости от модели), площадь исследуемого участка относительно небольшая (до 100 га), зависимость от погоды (ветер, осадки). Тем не менее, для изучения экзогенных процессов данные параметры вполне подходят. Для повышения точности ортофотопланов нами используется привязка к наземным маркерным пунктам, координаты которых определяются с помощью спутниковых приемников. Таким способом точность ортофотопланов достигает 5-10 см. Для производства аэрофотосъемочных работ имеющимися в нашем распоряжении квадрокоптерами применялись следующие параметры: высота полета в диапазоне 50-80 м, перекрытие снимков в продольном направлении — не менее 80 %, в поперечном — не менее 70 %. Для съемки линейных объектов требуется выполнение не менее 3 галсов [3]. Последующая обработка аэрофотоснимков проводится нами в программе Agisoft Metashape Professional. В исследовании выполнялось построение 3d-моделей, ортофотопланов и цифровых моделей местности (ЦММ). Подготовка топографических планов, расчет площадей и объемов размывов осуществляется с использованием программного комплекса «Кредо».

На нескольких оврагах, отличающихся активным линейным природом, каждый год выполняются исследования по измерению площади вершин и вычислению их объемного прироста. То же самое относится и к проявлениям русловой эрозии. Использование аэрофотосъемки в исследованиях позволяет получить достаточно точные количественные данные по развитию различных эрозионных процессов (линейный прирост, площадной размыв и объем вынесенного материала), что повышает качество итоговых результатов за весь период наблюдений.

Ежегодное создание ортофотопланов на основе аэрофотосъемочных работ дает возможность со значительной точностью получать данные по динамике эрозионных процессов без наземных работ, занимающих достаточно много времени и ресурсов. В 2019-2022 гг. нами одновременно проводилась аэрофотосъемка и наземная тахеометрическая съемка участков размываемых фрагментов русел на р. Кырыкмас (лев. приток р. Иж) в Киясовском районе УР, на р. Сива (пр. приток р. Кама) в Воткинском районе УР, на р. Нылга (лев. приток р. Вала) в Увинском районе УР

и на р. Вала (лев. приток р. Кильмезь) в Вавожском районе УР. Совмещение этих видов съемок подтвердило возможность использования аэрофотосъемок для наблюдения за эрозионными процессами. Кроме того, скорость получения количественных данных по линейному и площадному размыву существенно выросла. На итоговом ортофотоплане фиксируется положение береговых линий изучаемого участка русла реки и появляется возможность создания топографических планов различных масштабов с целью проведения более полных изысканий.

Аналогичные исследовательские работы за период 2003-2022 гг. с определением линейного и площадного прироста проведены и по нескольким оврагам [4]. Также нами фиксировался объем выносимого материала в пределах активно размываемой вершинной части оврагов. Наиболее активно растущая часть оврага (привершинная) обычно соответствует участкам выполнения топографических съемок. В привершинных частях оврагов очень редко фиксируется аккумуляция размываемых грунтов. Возможные конуса выноса и аккумуляция наносов обычно сосредоточены в нижних и средних частях оврага. Объем подобного конуса выноса ранее нами подсчитывался только для одного оврага [5].

С 2015 г. нами также ведется наблюдение за активными абразионными процессами на береговой линии Воткинского водохранилища. Кроме фиксации бровки размываемого берега весной и осенью во время планового сброса воды в водохранилище проводится съемка склонов и прилегающих участков дна.

Изучение оползневых процессов идет на примере размываемого участка левого берега р. Вятка (с. Крымская Слудка Кизнерского района УР). По данным на 2023 г. длина оползня составляет 310 м, ширина достигает 36 м. Высота оползневого тела изменяется в пределах от 17 до 22 м от уреза воды. При этом высота коренного берега составляет 37-38 м от уреза воды. Объем оползневого тела по данным наблюдений 2022 г. составил почти 113000 м³. Доступность и сложность конфигурации объектов изучения довольно часто является значительной проблемой при проведении исследований. Использование квадрокоптера дает возможность получить цифровую модель тела оползня намного быстрее и качественнее наземной топографической съемки. Основной этап обработки аэрофотосъемки идет в программе Agisoft Metashape Professional. В результате мы получаем ортофотоплан и ЦММ с рельефом, построенным на основе нерегулярной сети треугольников (TIN). Преимуществом программы Agisoft Metashape Professional является возможность исключения из построения ЦММ точек ситуации, на расположенных на уровне земли — кустарники, деревья, постройки и т.п. В программном комплексе «Кредо» ЦММ может отображаться и в виде горизонталей с различной

высотой сечения. Топографические планы нами создаются на основе ЦММ и ортофотопланов. Для вычисления объема оползневого тела кроме поверхности земли необходима еще и подстилающая поверхность. Ее мы создаем методом интерполирования стенки срыва до уровня уреза воды. Далее программа вычисляет объем оползневого тела как разность двух ЦММ. Для контроля вычислений объема имеется возможность построения поперечных профилей в любом удобном месте.

Таким образом, использование современных геодезических технологий способствует более детальному изучению экзогенных процессов. Съёмка, выполняемая беспилотными летательными аппаратами, позволяет контролировать и дополнять наземные геодезические методы исследования овражно-русловой эрозии. Получаемая ежегодно цифровая модель местности показывает общую картину развития экзогенных процессов и способствует быстрому получению различных количественных показателей.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00194, <https://rscf.ru/project/23-27-00194>

Библиографические ссылки

1. *Рысин И. И.* Овражная эрозия в Удмуртии. Ижевск: Изд-во Удмурт. ун-та, 1998. 274 с.

2. *Григорьев И. И.* Использование программного комплекса «Credo» для определения объемов и площадей оврагов // Вестник Удмуртского университета. Серия «Биология. Науки о Земле». 2009. Вып. 2. С. 141–145.

3. *Григорьев И. И., Рысин И. И.* Оценка линейного и площадного прироста оврагов с применением инструментальных методов (на территории Удмуртии). Геоморфология. 2021; (3): 64-78.

4. *Григорьев И. И., Рысин И. И.* Многолетняя динамика линейного, площадного и объемного прироста оврагов на территории Удмуртии. Геоморфология. 2022; 53(4): 56-73.

5. *Григорьев И. И., Рысин И. И.* Использование беспилотных авиационных систем в исследовании опасных эрозионных процессов на территории Удмуртии // Природные опасности: связь науки и практики: материалы III Междунар. науч.-практ. конф., посвящен. 150-летию М. И. Сумгина (Саранск, 18-19 мая 2023 г.) / отв. ред. Д. Е. Глушко. Саранск: Изд-во Морд. ун-та, 2023. С. 136-142.