

^{1,2}Беляев В.Р., ^{1,2}Луговой Н.Н., ¹Иванов М.М., ¹Турыкин Л.А.,
¹Школьный Д.И., ^{1,2}Харченко С.В.
*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Институт географии РАН*

Опыт использования беспилотных летательных аппаратов в геоморфологических и гидрологических исследованиях¹

В настоящее время беспилотные летательные аппараты (БПЛА) всё шире применяются в практике полевых исследований в самых разных отраслях наук о Земле. Важнейшим преимуществом использования дронов является то, что, по сути, исследователь, работающий непосредственно в контакте с изучаемым объектом в полевых условиях, получает в свои руки управление, пусть и весьма ограниченным в применении в пространстве (размер зоны охвата, расстояние от оператора) и времени (предельное время работы от аккумулятора), но, тем не менее, достаточно гибким средством дистанционного зондирования. Съёмка с БПЛА является существенным дополнением и мощным расширением диапазона возможностей полевых наблюдений.

Наиболее широкое распространение в полевой практике географических исследований, насколько известно авторам, получили БПЛА легкого класса (микро-), квадрокоптерного типа (с 4-мя несущими винтами, вращающимися в горизонтальной плоскости) производства компании DJI – более тяжелые и прочные Phantom, более легкие и компактные – Mavic. Главными техническими преимуществами являются относительная простота освоения и использования, ценовая доступность (по сравнению с сопоставимыми по детальности и точности съёмки системами наземного и воздушного лазерного сканирования), возможность работы в труднодоступной местности в рамках пеших маршрутов (небольшая масса, достаточная емкость памяти) и съёмки недоступных для пешего наблюдателя объектов, умеренная сложность освоения процедур пост-обработки данных и широкий спектр получаемых на выходе продуктов, наиболее употребительными из которых в рамках геоморфологических и гидрологических исследований являются цифровая модель местности и ортофотоплан.

Основными техническими ограничениями указанных БПЛА являются невозможность получения информации о рельефе на залесенных территориях, сильная зависимость возможности полета и качества съёмки от метеоусловий (не рекомендуется работа при скоростях ветра >12-15 м/с, невозможна съёмка в дождь, туман, при низкой облачности или низких температурах воздуха), ограниченная энерговооруженность и, соответственно, время автономной работы, связанная с емкостью штатных аккумуляторных батарей

¹ Выполнено по плану НИР научно-исследовательской лаборатории эрозии почв и русловых процессов им. Н.И. Маккавеева МГУ имени М.В. Ломоносова «Эволюция и трансформация эрозионно-русловых систем в условиях изменения природной среды и антропогенных нагрузок» (АААА-А16-116032810084-0) при поддержке РФФ (проекты №№ 19-77-10061, 19-17-00181) и РФФИ (проекты №№ 18-05-00487-а, 18-05-01118-а, 20-35-70066).

(30-40 минут от одной батареи), необходимость частой подзарядки аккумуляторов, пульта и внешних устройств управления.

Ключевой технической проблемой, решение которой необходимо для получения обоснованных количественных данных о динамике рельефа по данным БПЛА, является геодезически точное пространственное координирование результатов съемок. Для обеспечения возможности мониторинга динамики рельефа на основании сравнения данных разновременных съемок с БПЛА необходимо обеспечить их высокоточную взаимную связку. Встроенные системы позиционирования БПЛА доступного ценового диапазона не могут обеспечить необходимую точность (она соответствует приемникам спутникового позиционирования бытового и туристического классов), что требует организации размещения и геодезической съёмки наземных опознаков – маркеров. Маркеры применяются для оптимизации результатов расчёта положений камер и параметров их внутренней ориентации, что позволяет улучшить результаты фотограмметрических операций и точность привязки. Необходимо равномерно распределить в пределах сцены по крайней мере 10-15 опорных точек. Конкретные особенности размещения опорных точек зависят от особенностей участка съёмки (сложности рельефа, растительности и других препятствий). Идеальным вариантом является возможность использования в качестве опорных точек устойчивых меток, которые будут сохраняться при повторных съёмках. Однако, это далеко не всегда возможно, например, при съёмке распахиваемых участков, или активно перерабатываемых участков абразионно-аккумулятивных морских берегов.

Другой вариант решения проблемы – использование БПЛА со встроенными спутниковыми приемниками геодезического класса, работающими в режиме RTK, получая поправки для высокоточного позиционирования в режиме онлайн через радио- или GSM-модем. Однако, такое техническое решение сразу увеличивает стоимость устройства в комплекте с приемником и модемом до >500 тыс. руб (при стандартных вариантах оборудования – в пределах 100-200 тыс. руб). Кроме того, пока недостаточно независимых свидетельств о качестве привязки отдельных залетов и возможности высокоточной взаимной связки данных разновременных съемок, полученных с помощью такого оборудования.

В предлагаемом докладе будут приведены некоторые примеры успешного применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в геоморфологических и гидрологических исследованиях. Кратко освещаются основные принципы организации съёмочных работ и пост-обработки данных, используемое программное обеспечение. Основной акцент будет сделан на получение количественных характеристик динамики рельефа, темпов рельефообразующих процессов, некоторых нетрадиционных перспективных направлениях применения БПЛА.

Использованные примеры включают: 1) оценка объемов смыва и аккумуляции по параметрам водорои и аккумулятивных тел после отдельных эрозионных событий на участках пахотных склонов; 2) мониторинг дина-

мики активно отступающих речных и морских берегов; 3) мониторинг плоскостной и линейной эрозии, оценка объема выноса наносов и загрязняющих веществ на активно размываемых антропогенных объектах (терриконы бывшего Подмосквонного бурогольного бассейна в Тульской области); 4) количественную оценку параметров и последствий селевого события и пост-селевой переработки рельефа днища долины в низкогорье Кольского полуострова; 5) мониторинг современной динамики прогляциальной зоны в активной ледниковой долине Северного Кавказа; 6) измерение расходов воды в реках методом временной засечки поверхностных поплавков с БПЛА; и некоторые другие.