

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ БЕРЕГОВ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2018 г. А.И. Лучников¹, Ю.С. Ляхин², А.П. Лепихин^{1,2}

¹ ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал, г. Пермь, Россия

² ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук», г. Пермь, Россия

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, мониторинг, переработка берега, интенсивность переформирования, опорные точки, ортофотоплан, цифровая модель рельефа, пространственное разрешение, геоинформационные системы.

Рассмотрен опыт применения беспилотного летательного аппарата для решения задач, связанных с оценкой состояния и динамики береговой зоны поверхностных водных объектов.

Для существенно-го повышения точно-

сти выполняемой съемки и последующих оценок предлагается на исследуемой местности использование набора опорных точек (маркеров) с определением их плановых и высотных координат с применением профессиональных двухчастотных GPS-ГЛОНАСС приемников и в соответствии с действующими нормативными документами. Данный подход позволяет принципиально улучшить качество получаемых оценок и повысить эффективность применения беспилотного летательного аппарата.

На участке правого берега р. Косьва в районе с. Перемское проведен анализ интенсивности переформирования склона на основе выполненных полевых обследований 2017 г. Такие оценки необходимы для эффективного прогнозирования динамики изменения берегов, а также при разработке берегозащитных мероприятий.



А.И. Лучников



Ю.С. Ляхин



А.П. Лепихин

Для решения широкого круга водохозяйственных задач, связанных, в первую очередь, с ранней диагностикой потенциально опасных зон берегов водных объектов и построением для них прогнозных оценок, принципиальное значение имеет актуальность, полнота и детальность качественных и количественных характеристик. Выполнение детальных натурных измерений даже с использованием современного геодезического оборудования весьма трудоемкая задача, требующая для своего решения значительных временных затрат. Использование крупномасштабных космических снимков значительно облегчает решение поставленной задачи. Однако специальное проведение таких съемок весьма дорогостоящее мероприятие, а при использовании уже имеющихся снимков возникают проблемы с их временной последовательностью и необходимым пространственным разрешением. В настоящее время при решении таких задач очень существенную поддержку может оказать использование современных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Несмотря на то что эти аппараты стали доступны для широкого применения всего несколько лет назад, данное направление очень быстро развивается. На сегодняшний день уже имеется широкая линейка БПЛА с различными летными и техническими характеристиками. В целом БПЛА может быть использован весьма эффективно по следующим направлениям:

- оценка состояния береговой полосы (ее динамика, загрязненность, наличие несанкционированных и недекларируемых объектов);
- актуализация состояния зон затопления, в т. ч. в нижних бьефах гидротехнических сооружений. Такие актуализированные оценки необходимы при разработке декларации безопасности этих объектов;
- оперативная оценка зон возможного загрязнения водных объектов при аварийных ситуациях, а также анализ неоднородности крупных водных объектов вследствие техногенных воздействий или слияния водотоков (при условии различия в цветовой гамме поверхностных водных объектов или источников загрязнения).

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Изначально БПЛА стали разрабатывать на рубеже 1960-х годов, в первую очередь, для военных целей. По разным оценкам на 2012 г. для этих задач БПЛА использовались в вооруженных силах 45 государств [1]. Гражданское и коммерческое применение БПЛА в техническом плане развито не так хорошо, тем не менее, область использования и спектр предлагаемых на современном рынке аппаратов достаточно широк. Современные БПЛА значительно различаются по своим техническим возможностям и, соответственно, диапазону цен, а также количеству эксплуатирующих их специалистов. В России для гражданского использования применяется

множество БПЛА как самолетного типа (крыло), так и вертолетного. Многие из них имеют широкий функционал, летные характеристики и позволяют получать достаточно качественный итоговый материал. Это можно оценить по современным публикациям [2, 3].

В данной статье, на основе накопленного опыта по мониторингу состояния и реформирования береговых зон, анализируется один из самых доступных и распространенных БПЛА – DJI Phantom 3 (Advanced). Основными его преимуществами являются мобильность, относительно невысокая стоимость (цена комплекта ~100 тыс. рублей) и возможность пилотирования одним оператором. Более подробно характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики БПЛА DJI Phantom 3 Advanced

Характеристика	Значение
Квадрокоптер	
Вес (с аккумулятором и пропеллерами)	1280 г
Максимальная скорость полета/взлета/снижения	16 / 5 / 3 м/с
Максимальное время полета	~ 23 мин
Поддерживаемые системы спутниковой навигации	GPS / ГЛОНАСС
Камера	
Размер сенсора	Sony EXMOR 1/2,3 дюйма
Объектив	f/2.8 (35-мм эквивалент), 94 градуса угол обзора
Количество пикселей / Максимальное разрешение	12,4 Мегапикселей / 4000x3000 pix

Мониторинг осуществлялся в границах 8 населенных пунктов на реках Косьва, Сылва, Чепца и Чусовая. Основная цель работы – оценка актуального состояния разрушаемых участков берега, вблизи которого расположены объекты инфраструктуры (дороги, опоры ЛЭП и т.п.), участки домовладений и строений.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ

Рассмотрим на конкретных примерах технологию (алгоритм) применения данного БПЛА при изучении процессов реформирования береговой зоны, а также дадим оценку оперативности, точности и качеству получаемой информации.

В качестве достаточно показательного примера рассмотрим участок правого берега р. Косьва в районе с. Перемское (Пермский край). Протяженность исследуемого участка ~400 м, берег коренной высотой 14–16 м сложен преимущественно суглинком и глинами. На данном участке выявлены активные процессы разрушения берегового склона (рис. 1). Основными причинами разрушения берега являются размыв подошвы склона водным потоком (особенно в период весеннего половодья) и активное развитие овражно-балочной сети, также повсеместно отмечаются осыпи и плоскостной смыв (вязкопластичное течение грунта).



Рис. 1. Вид на участок правого берега р. Косьва в районе с. Перемское.

Как показал накопленный опыт, первоначальный этап подготовки (предварительные камеральные работы) является одним из определяющих для получения качественного итогового результата. На данном этапе, помимо стандартной проверки работоспособности оборудования (магнитный компас, система позиционирования GPS-Глонасс, фокусировка камеры, работа подвеса и пр.), в специализированных программах (DroneDeploy, Pix4D, Litchi и др.) создается план полета (с заданием необходимых параметров), а также анализируется метеорологическая обстановка на дату выполнения полевых работ.

Для создания планов полета использовалось приложение DroneDeploy, параметры полетных характеристик и фотосъемки задавались на основе опытных полетов, выполненных ранее. Для исследуемого участка назначены следующие параметры: высота съемки – 60 м, максимальная скорость полета – 6 м/с, фронтальное и боковое перекрытие снимков – 80 % (рис. 2).

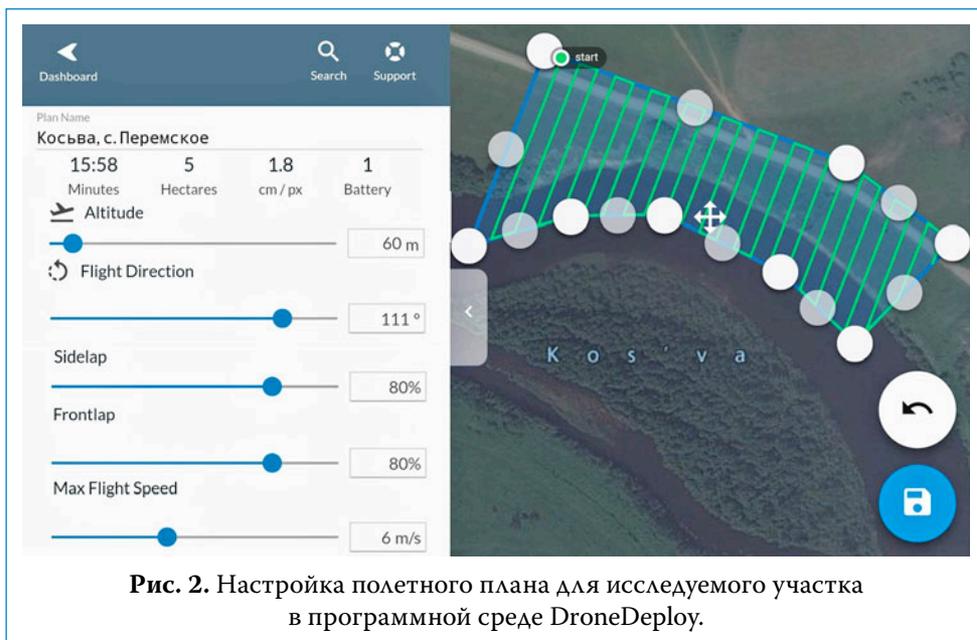


Рис. 2. Настройка полетного плана для исследуемого участка в программной среде DroneDeploy.

Погодные условия в день съемки также влияют на качество аэрофотоснимков. Оптимальными условиями является безветренная ясная погода. Солнечная погода позволяет получить более насыщенные и контрастные снимки. Как показывает опыт, при наличии ветра более 10 м/с (на высоте съемки) квадрокоптер может сбиваться с маршрута полета, что приводит к его зависанию, необходимости ручной посадки и перезапуску полетного плана. Наиболее часто данная проблема отмечалась в моменты нахождения квадрокоптера в поворотных точках маршрута, поскольку ему не удавалось стабилизировать свое местоположение (получить координаты) и как следствие рассчитать маршрут (расстояние и курс) до следующей поворотной точки. Также ветер негативно влияет на максимальную продолжительность полета в связи с перерасходом энергии (до 40 %) на преодоление встречного или бокового воздушного потока. Это обязательно нужно учитывать при планировании полетного времени для безопасного возвращения БПЛА на место взлета, особенно при съемке линейных или протяженных участков.

Второй этап заключается в проведении полевых работ на участке исследования. В первую очередь, выполняется рекогносцировка местности, оценка опасных для квадрокоптера объектов (высотных зданий, высоковольтных ЛЭП, вышек связи и т. п.). Далее выполняется раскладка на местности опорных опознавательных знаков (маркеров) по периметру участка съемки, в понижениях и на возвышениях, а также на переломных точках

рельефа. Их использование позволяет существенно повысить точность последующей обработки полученных материалов. В качестве маркеров применялись планшеты со специальным черно-белым рисунком, хорошо распознаваемым с большого расстояния (рис. 3). В процессе раскладки маркеров выполняется привязка их центров при помощи профессиональных GPS-ГЛОНАСС приемников Topcon GR-5.



Рис. 3. Фрагмент фотографии с маркерами на исследуемом участке р. Косьва.

Далее осуществляется подготовка квадрокоптера к полету и непосредственно сам полет. Для этого БПЛА приводится в рабочее состояние, выполняется калибровка магнитного компаса, проверка всех систем позиционирования, предварительный подъем на запланированную высоту съемки для настройки камеры (ISO, выдержки, фокусировки) в текущих погодных условиях. В программе DroneDeploy выполняется созданный план полета, после чего полученные снимки переносятся на мобильный ПК для оценки их качества.

Третий этап работы заключается в камеральной обработке полученных материалов. Весь процесс обработки фотографий выполняется в программном обеспечении Agisoft PhotoScan Professional. Краткая последовательность этапов обработки выглядит следующим образом: создание проекта и его настройка, добавление фотографий, выравнивание фотогра-

фий, расстановка и задание координат маркеров, оптимизация выравнивания камер, построение плотного облака точек, создание карты высот и ортофотоплана. Более подробно каждый этап обработки описан в пошаговом руководстве к Agisoft PhotoScan Professional [4]. Необходимо отметить, что задание координат и высотного положения маркеров производится на основе результатов обработки данных геодезической привязки, а после построения плотного облака точек выполняется его классификация по типам поверхности (рельеф, растительность, здания и пр.).

АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В процессе обработки полученных материалов выполнен анализ 333-х снимков. Использование 14 маркеров позволило осуществить их привязку с ошибкой (в плане) от 2 до 10 см. Полученное в дальнейшем плотное облако точек (более 40 млн) (рис. 4) позволило построить карту высот (рис. 5) с пространственным разрешением 4,6 см/пикс и ортофотоплан (рис. 6) с разрешением 2,3 см/пикс.



Рис. 4. Плотное облако точек с таблицей координат маркеров.

Для оценки интенсивности склонового переформирования на рассматриваемом участке 4 октября 2017 г. было выполнено повторное обследование (съемка) с последующей обработкой, аналогично описанной выше. Полученные ортофотопланы и цифровые модели рельефа (ЦМР) береговой полосы были обработаны в программном продукте «ArcMap», где с применением специализированных модулей была выполнена оценка состояния склона и контуров отдельных элементов, в т. ч. и бровки берега. В данном конкретном случае на рассматриваемом 400-метровом участке за 117 дней (период 9.06–4.10) площадь обрушения бровки берега составила

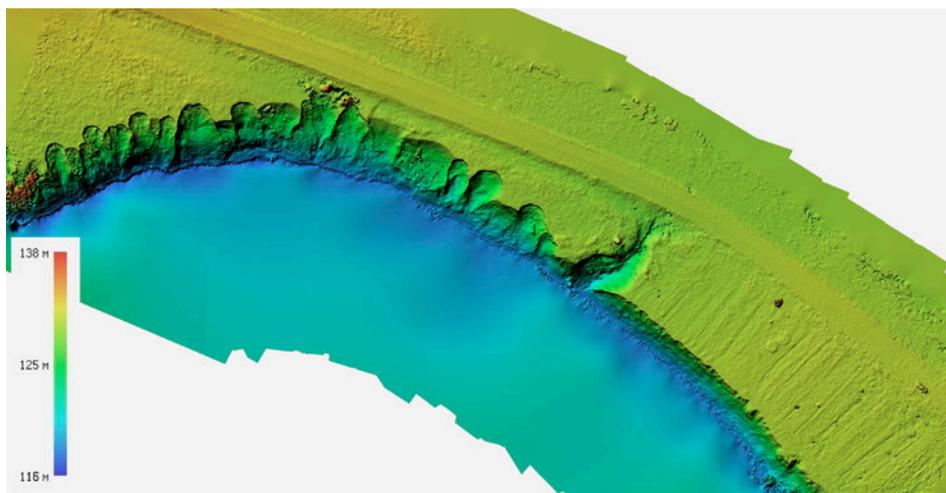


Рис. 5. Карта высот участка р. Косьва в районе с. Перемское, полученная на основе плотного облака точек.



Рис. 6. Ортофотоплан участка р. Косьва в районе с. Перемское.

~81 м². Соответственно, среднее значение «отступления» бровки для всего участка составило ~0,2 м. При этом максимальное значение данного показателя на одном из подучастков достигало 5,4 м. Объем же переформирования (обрушения) на участке был получен как разница двух ЦМР и составил ~440 м³ (рис. 7).



ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

В данной статье на конкретном примере рассмотрен подход к оценке переформирования береговой зоны с применением малых гражданских БПЛА (на примере DJI Phantom 3 Advanced). Он подразумевает комплексную схему использования специализированных «полетных» программ, современных ГИС-пакетов, прогрессивных двухчастотных GPS-ГЛОНАСС приемников и непосредственно комплекса БПЛА. Результатом полевых исследований и дальнейшей обработки полученных данных могут являться качественные и актуальные ортофотопланы «сантиметрового» разрешения, ЦМР или ЦММ.

Накопленный опыт позволяет на каждом отдельном участке исследования определять не только направленность происходящих процессов, но и достаточно подробно оценивать их динамику (изменение контуров берега, объемы переформирования и др.). В частности, для рассматриваемого участка берега р. Косьва в районе с. Перемское за летне-осенний период (117 дней) объем переформирования (обрушения) составил $\sim 440 \text{ м}^3$, среднее «отступление» бровки берега – 0,2 м. В 2017 г. аналогичные работы проводились еще на восьми участках рек.

Также отметим, что основная проблема, с которой пришлось столкнуться при выполнении полевых работ и последующей обработке материалов – локальные зоны берега под кронами крупных деревьев и плотным кустар-

ником. Для получения достоверных данных в подобных местах выполнялась съемка нескольких ключевых точек рельефа во время привязки маркеров при помощи профессиональных GPS-ГЛОНАСС приемников.

В целом рассмотренный подход с применением БПЛА показал свою эффективность при мониторинге берегов. Главным образом, она обусловлена малыми временными затратами на полевые изыскания, возможностью выполнения всего объема работы одним специалистом, а также актуальностью получаемой информации. Последняя, в свою очередь, позволяет, при необходимости более оперативно реагировать на возможные неблагоприятные последствия переформирования берега.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров С.И., Хаустов А.В., Крамаренко Т.М., Долгих В.С. Классификация БПЛА и системы их интеллектуального управления // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. 2016. № 74. С. 12–21.
2. Соболев И.С., Хохлов Д.Н. Применение аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата для мониторинговых исследований береговой зоны водохранилища // Приволжский научный журнал. 2016. № 4. С. 75–77.
3. Бузмаков С.А., Санников П.Ю., Андреев Д.Н. Подготовка и применение материалов аэрофотосъемки для изучения лесов // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2.
4. Пошаговое руководство (уровень: начинающие). Режим доступа: [http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.2%20-Tutorial%20\(BL\)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20\(with%20GCP\)%20\(Russian\).pdf](http://www.agisoft.com/pdf/PS_1.2%20-Tutorial%20(BL)%20-%20Orthophoto,%20DEM%20(with%20GCP)%20(Russian).pdf).

Сведения об авторах:

Лучников Антон Игоревич, старший научный сотрудник, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; e-mail: luchnikovanton@gmail.com

Ляхин Юрий Сергеевич, инженер, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), Россия, 614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13А; e-mail: ljahin85@mail.ru

Лепихин Анатолий Павлович, д-р геогр. наук, профессор, директор, ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Камский филиал (КамНИИВХ), Россия, 614002, г. Пермь, ул. Николая Островского, 113; заведующий лабораторией проблем гидрологии суши, ФГБУН «Горный институт Уральского отделения Российской академии наук» (ГИ УрО РАН), Россия, 614990, г. Пермь, ул. Ленина, 13А; e-mail: lepihin49@mail.ru