

УДК 582.29(77.058)

МАЛОБЮДЖЕТНЫЕ МЕТОДЫ АЭРОФОТОСЪЕМКИ В ЛИХЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Т.А. Пчелкина, А.В. Пчелкин

Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН, Москва

Малоразмерные беспилотные летательные аппараты бюджетной категории позволяют с небольшими затратами проводить картирование пробных площадей. Они перекрывают диапазон высот от нескольких метров до нескольких сотен метров и пригодны для изучения динамики кустистых и листоватых эпигейных лишайников. В качестве индикаторных видов удобны *Cladonia stellaris*, *C. arbuscula*, *Flavocetraria cucullata*, виды р. *Stereocaulon* и др.

Ключевые слова: *лихенометрия, лишайники, беспилотные летательные аппараты, аэрофотосъемка, картирование.*

Введение. Фотосъемка участков Земли с различных высот широко используется в разных областях хозяйственной деятельности. Фотосъемка с воздуха, насчитывающая уже более ста лет, возникла до появления самолетов и проводилась с воздушных шаров, аэростатов и дирижаблей. Аэрофотосъемка часто используется в природоохраных мероприятиях в северных районах, где при разработке газовых и нефтяных месторождений нередко наносится большой вред природе; ее удобно использовать при изучении процессов изменения различных типов тундр, лесотундры, динамики экотонов, структуры растительного покрова (Боч, Тольчельников, 1973, Усова, 2009; Кобелева, 2012). При этом важное значение имеет дешифрирование полученных снимков (Усова, 2009).

Выбор маломерных беспилотных летательных аппаратов для лихенологических съемок. До недавнего времени аэрофотосъемка проводилась в основном с помощью больших летательных аппаратов – самолетов и вертолетов. В последнее время появилась возможность осуществлять фотографирование с использованием маломерных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Профессиональные беспилотные летательные аппараты широко используются в военном деле и служат не только для разведки местности, но и для нанесения авиаударов по противнику. Полупрофессиональные БПЛА на базе мультикоптеров использовались во время боевых действий на юго-востоке Украины для ведения разведки и корректировки огня. В лихенологии применение профессиональных беспилотных летательных аппаратов, при таких очевидных достоинствах, как высокое качество получаемого изображения (или, если необходимо, видеоматериала), имеет вполне определенный недостаток – довольно высокую стоимость.

Так, час работы съемочной группы с выездом на место в пределах Московской обл. с учетом транспортных расходов стоит около 2000 долларов. Покупка полупрофессионального беспилотного летательного аппарата, например, квадрокоптера DJI Phantom с полетным контроллером DJI Nasa M, встроенным датчиком GPS и подвесной камерой GoPro стоит от 1200 до 2000 долларов (FPV-комплект). Зачастую, при лихенологических работах исследователи сталкиваются с недостатком средств, а требования к качеству получаемого изображения не столь критичны. Поэтому иногда вполне оправдано использование для аэрофотосъемки аппаратов ценового диапазона от 70-80 до 400 долларов. Имеющиеся в продаже маломерные беспилотные летательные аппараты этого ценового диапазона чаще всего используются для тренировок и игр, но при наличии фотокамеры, их вполне можно применять и в научных целях. При этом основными критериями таких аппаратов, делающими их пригодными для лихенологических исследований, становятся стабильность полета, управляемость, дальность и высота полета, качество получаемого изображения. Летательными аппаратами этого ценового диапазона, имеющимися в продаже, являются вертолеты соосной и классической схемы, мультикоптеры и самолеты. Важнейшим свойством при такой аэрофотосъемке является способность неподвижно зависать в одной точке над фотографируемой пробной площадкой. Поэтому беспилотные малоразмерные самолеты из-за большой горизонтальной скорости полета зачастую пригодны только для общих съемок в условиях хорошей освещенности. Наибольшей стабильностью обладают вертолеты соосной схемы, однако они весьма критичны к скорости ветра. Еще один уязвимый элемент вертолетов классической схемы и некоторых моделей соосной схемы – процесс маневрирования, осуществляемый с помощью довольно сложного и часто ненадежного аппарата перекоса, – при падении машины он часто выходит из строя. Более простую и, следовательно, несколько более надежную конструкцию имеют мультикоптеры, у которых вертикальный и горизонтальный маневр осуществляется за счет изменения скорости вращения бесколлекторных роторов, вращающихся в разные стороны. Мультикоптеры более устойчивы к ветру, чем вертолеты соосной схемы, часто имеют достаточно высокую горизонтальную скорость, что позволяет использовать их при слабой и умеренной ветровой нагрузке. Некоторые модели маломерных беспилотных летательных аппаратов имеют приемо-передающую камеру, что позволяет визуально контролировать процесс полета на мониторе пульта управления. При отсутствии приемо-передающей системы приходится делать серию снимков и уже из них выбирать наилучший по ракурсу. Мультикоптеры бывают микро-, средне- и большими аппаратами. Большие мультикоптеры более устойчивы к ветру, обладают большей

грузоподъемностью (что позволяет устанавливать на них фотокамеры, дающие хорошее качество изображения), из-за больших размеров они хорошо видны на расстоянии, что позволяет визуально управлять ими без потери видимости. Указанные аппараты, правда, не всегда добны при транспортировке; при падении вероятность их поломки выше. Среднеразмерные модели гораздо удобнее в транспортировке, удароустойчивы, но менее грузоподъемны и на расстоянии 100 м уже малозаметны, что существенно затрудняет управление ими.

Одним из важнейших компонентов БПЛА является фото-видео камера. При этом вибрация аппарата в минимальной степени влияет на изображения, полученные с помощью короткофокусных объективов и в наибольшей – полученных с помощью длиннофокусных. Поэтому для более качественной картинки фотосъемку желательно проводить при хороших условиях освещения, при короткой выдержке затвора. Недостатком дешевых моделей является отсутствие системы автоматической стабилизации в воздухе и функции возврата. В более дорогих моделях такая система имеется, например, в популярном квадрокоптере AR.Drone 2.0 есть множество аппаратных возможностей для стабилизации БПЛА в воздухе, контроля высоты полета и т.д. В моделях со встроенной системой GPS-навигации имеются такие функции, как возврат на исходную точку, полет по заданному маршруту, стабилизация при потере сигнала, защита от падения при разрядке аккумулятора. Весьма желательна возможность поворота фотокамеры в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Использование БПЛА в лихенологических исследованиях. В лихенологической практике аэрофотосъемка может применяться для картирования пробных площадей, для наблюдения за динамикой изменения проективного покрытия эпигейной лихенобиоты при мониторинговых исследованиях и др. Особенно это удобно при обследовании площадей, занятых ягельниками, например при изучении кормовой базы оленей-карибу (Lance, Eastland, 2000) или в лишайниковых сосняках. Дешифрирование ягельников, как правило, сложностей не вызывает. Цветная инфракрасная аэросъемка древесной растительности уже используется при изучении редких видов эпифитных лишайников (Ask, Nilsson, 2004).

В наибольшей степени требованиям лихенометрической съемки отвечают мультикоптеры, обладающие, с одной стороны, способностью неподвижно зависать в воздухе для оптимальной фотосъемки, а с другой, сравнительно большой горизонтальной скоростью полета, что позволяет бороться с ветром.

При лихенологических исследованиях основной вид фотосъемки – плановый, когда направление фотосъемки отклоняется от вертикали на угол не более 3°-5°. При этом отсутствие краевой дисторсии является важным критерием таких съемок; в противном случае, приходится

использовать в основном центральную часть изображения. При плановых съемках эпигейные лишайники выглядят как белые, серые или коричневые пятна, что позволяет осуществлять их картирование, а также проводить изучение их динамики методом сравнения фотографий, сделанных через определенные промежутки времени. Для выявления изменений в проективном покрытии эпигейной лишайной биоты удобно использовать в качестве опорных постоянные реперные точки, хорошо заметные при аэрофотосъемке. Такими точками могут быть как естественные объекты (например, камни), так и искусственные (например, вбитые колышки). Число реперных опорных точек не должно быть меньше трех – это позволяет более точно позиционировать фотоснимки. Опорные точки должны удовлетворять следующим критериям: быть долговечными, их положение должно быть константным, они должны обладать хорошей контрастностью по отношению к изучаемой площадке, желательно, чтобы их цвет не сливался с эпигейной лишайной биотой. Поскольку получаемые снимки обычно цветные, то такие цвета, как белый, ярко-красный, ярко-оранжевый и др. будут хорошо видны на снимках. Опорные точки также могут иметь геометрическую форму, которая хорошо просматривается на аэрофотоснимках (например, опорные точки в виде крестов). Геометрические размеры опорных точек зависят от высоты аэрофотосъемки и могут быть различными; основными критериями при этом выступают хорошая видимость их на снимках и легкость идентификации при дешифровке. При плановой аэрофотосъемке пробных площадок желательно, чтобы вертикальная проекция от БПЛА была максимально близка к центру исследуемой площади. Это позволит минимизировать перспективные искажения, появление которых неизбежно при съемке под углом. При аэрофотосъемке не все эпигейные виды лишайников хорошо видны на получаемых фотоснимках. Поэтому при мониторинговых исследованиях следует в качестве индикаторных видов выбирать такие, которые являются доминантами, чувствительны к отслеживаемому антропогенному тренду, контрастны по отношению к субстрату и хорошо видны на снимках. Дешифровка аэрофотоснимков в таких случаях, как правило, проблем не вызывает.

Необходимая высота аэрофотосъемки выбирается в зависимости от поставленных задач. При малых размерах талломов и небольшой по размерам пробной площадке высота съемки также может быть небольшой – до нескольких метров. При аэрофотосъемке ягельников на больших пробных площадях высота может достигать нескольких десятков или даже сотен метров. Минимальная высота аэрофотосъемки тесно коррелирует с углом съемки используемой фотокамеры. Так, при использовании широкоугольной фотокамеры с углом зрения 90° ширина фотографируемой площади равна удвоенной высоте

фотосъемки. При использовании объективов с другим углом съемки ширина фотографируемого участка вычисляется в соответствии с простыми правилами геометрии. При фотосъемке с использованием широкоугольных объективов нужно учитывать явление краевой дисторсии и фотосъемку проводить с несколько большей высоты, а для картирования пробных площадок использовать центральную часть кадра. Наибольшая высота аэрофотосъемки определяется возможностями летательного аппарата, которая максимальна у БПЛА управляемых по радиочастотному каналу (чаще всего 2,4 ГГц или 5,72-5,85 ГГц). Сравнительную аэрофотосъемку для мониторинговых исследований нужно проводить при постоянной высоте зависания БПЛА. У простых моделей высота аэрофотосъемки определяется различными методами: с помощью лесотаксационного высотомера (например, механического высотомера Макарова, оптико-механического высотомера Блюма-Лейса и др.), визуально-сравнительного метода, метода подобных треугольников и т.д. Более сложные модели БПЛА позволяют задавать высоту зависания с пульта управления или программным способом. Небольшие колебания по вертикали и горизонтали в режиме зависания мало влияют на результат аэрофотосъемки. Так, популярные модели квадрокоптеров с GPS модулями – DJI Phantom и Walkera – в режиме зависания допускают колебания 0,8 м по вертикали и 2,5 м по горизонтали. При съемке в лишайниковых сосняках необходимо следить, чтобы область съемки не перекрывалась кронами деревьев, а сам аппарат во время полета не задевал кроны. Основным критерий при таких видах съемок – контрастность талломов лишайников на фоне субстрата. При необходимости картирования лишайникового покрова для измерения проективного покрытия реперные точки должны располагаться по углам правильного квадрата, длина сторон которого определяется в зависимости от размеров изучаемой пробной площадки. Разлиновка сетки этого квадрата и вычисление проективного покрытия в % производится уже в лабораторных условиях. Для этого полученные аэрофотоснимки пробной площадки с реперными точками разлиновываются на сетку в любом графическом редакторе. Разлиновка, как правило, составляет сетку квадратов 10x10; при этом один квадрат соответствует проективному покрытию в 1%. Затем производится вычисление проективного покрытия лишайников, аналогично вычислениям, применяемым для эпифитных видов: вычисляется общее проективное покрытие лишайников, составляющее сумму проективных покрытий отдельных видов на исследуемой пробной площадке. Точность вычисления проективного покрытия лишайников можно увеличить до 0,01%, проведя дополнительную разлиновку тех квадратов, в которых зафиксированы талломы лишайников. Проводя разлиновку пробной площади нужно учитывать перспективные краевые

искажения, возникающие при съемке широкоугольными объективами. Однако, если высота аэрофотосъемки фиксирована при сравнительных мониторинговых исследованиях, то краевые искажения мало влияют на конечный результат, т.к. возникающая ошибка также фиксирована. Детализация по отдельным видам при этом не производится, поскольку на аэрофотоснимках не всегда имеется возможность идентифицировать отдельные виды лишайников. Полупрофессиональные комплекты, состоящие из мультикоптера и камеры высокого разрешения (DJI Phantom с камерой Go Pro, Phantom 2 Vision с собственной камерой, Walkera QR X350 с камерой Go Pro и др.) иногда позволяют проводить идентификацию наиболее характерных видов лишайников, но эти комплекты и стоят гораздо дороже. Тем не менее, для регулярных лихенометрических аэрофотосъемок и получения снимков высокого качества приобретение таких комплектов вполне оправдано. При этом нужно иметь в виду, что если пульт управления БПЛА и пульт управления камерой работают на одной и той же радиочастоте, то возможны взаимные помехи, приводящие в отдельных случаях к потере управления квадрокоптером.

Иногда для иллюстрации характеристик пробных площадок бывает необходимо показать окружающий пейзаж. Тогда требуется проводить перспективную аэрофотосъемку, при которой направление фотосъемки отклоняется от вертикали на угол гораздо больший 3° - 5° .

В некоторых моделях квадрокоптеров фотокамера установлена фиксировано – без возможности изменения угла наклона. Например, в квадрокоптере AR.Drone 2.0 основная, широкоугольная камера с углом зрения 92° , дающая относительно качественное изображение, установлена горизонтально к поверхности земли, вертикальная же камера служит только для корректировки полета и дает весьма посредственное изображение. В этом случае получают горизонтальные снимки, которые также можно использовать для иллюстрации окружающего ландшафта. Некоторые бюджетные модели, имеющие сменную фотокамеру, позволяют установить ее под нужным углом (модели v959, v222, v262 Cyclon и др.). Это особенно полезно, когда в процессе исследования нужно менять угол съемки или когда фотографируемый участок с лишайниками имеет заметный уклон, а целью фотосъемки является получение плановых снимков. В этом случае угол отклонения камеры от вертикали должен совпадать с крутизной склона. С помощью БПЛА удобно изучать общие планы лишайникового покрова, например, его деградацию.

Заключение. По сравнению с изучением лишенобиоты с применением классических методов (Бязров, 1990; Котлов, 1993; Пчелкин, Слепов, 2004; Lesica et al., 1991), использование маломерных БПЛА бюджетного ценового диапазона имеет свои достоинства и недостатки. Основными достоинствами являются: дешевизна

получаемых аэрофотоснимков, возможность охватить большую площадь за минимальное время, отсутствие влияния вытаптывания, наглядность полученных изображений при изучении динамики эпигейной лишенобиоты. Аэрофотографии можно использовать и для исследования визуальных характеристик биотопов района закладки пробных площадок. Недостатками являются: ограниченный набор видов, используемых в качестве индикаторных, чувствительность к погодным условиям (ветер, дождь), уязвимость БПЛА при аварийных посадках (в т.ч. посадка на кроны деревьев), появление эффекта флаттера при резком снижении, сложности зарядки аккумуляторных батарей в полевых условиях. Для аэрофотосъемки в наибольшей степени удобны светлые и ярко окрашенные эпигейные лишайники: *Cladonia stellaris*, *C. arbuscula*, *Flavocetraria cucullata*, виды из рода *Stereocaulon* и др. В целом, использование БПЛА бюджетного ценового уровня, перекрывающих диапазон высот аэрофотосъемки от нескольких метров до нескольких сотен метров, может с успехом служить дополнением к классическим методам изучения эпигейной лишенобиоты.

Список литературы

- Боч М.С., Толчельников Ю.С. 1973. Дешифровочные признаки болот тундровой зоны на аэрофотоснимках (на примере Ямала) // Применение аэрофотоснимков при изучении лесного и болотного мелиоративного фонда. Л.: ГО СССР. С. 72-80.
- Бязров Л.Г. 1990. Лишайниковые синузии и структура биогеоценозов // Журн. общ. биол. Т. 51. С. 632-641.
- Кобелева Н.В. 2012. Крупномасштабное эколого-фитоценотическое картографирование на основе аэроснимков и гис-технологий (на примере центральной части Тазовского полуострова) // Известия Самарского научного центра РАН. Т. 14. №1(6). С. 1607-1617.
- Котлов Ю.В. 1993. Флористическая и ландшафтно-экологическая структура лишайникового покрова стационара Контакт /Комплексные экологические исследования на стационаре «Контакт». Владивосток: Дальнаука. С. 63-95.
- Пчелкин А.В., Слепов В.Б. 2004. Использование водорослей и лишайников в биоиндикационных исследованиях и экологическом мониторинге. М.: МГСЮН. 20 с.
- Усова Л.И. 2009. Практическое пособие по ландшафтному дешифрированию аэрофотоснимков различных типов болот Западной Сибири. СПб.: Нестор-История. 80 с.
- Ask Peter, Nilsson Sven G. 2004. Stand characteristics in colour-infrared aerial photographs as indicators of epiphytic lichens. Biodiversity & Conservation. V. 13. №. 3. P. 529-542.
- Lance A. N., Eastland W.G. 2000. A guide to evaluating forest stands as terrestrial lichen forage habitat for caribou. Industrial Forestry Service. 13 p.: [Электрон.

ресурс]. Режим доступа: <http://www.env.gov.bc.ca> (Дата обращения: 12.03.2014).

Lesica P., McCune B., Cooper S.V., Hong W.S. 1991. Differences in lichen and bryophyte communities between old-growth and managed second-growth forests in the Swan Valley, Montana // *Canad. J. Bot.* V. 69. №.8. P. 1745-1755.

LOW-BUDGET METHODS OF AERIAL PHOTOGRAPHY IN LICHENOLOGICAL STUDIES

T.A. Pchelkina, A.V. Pchelkin

Institute of Global Climate and Ecology, Moscow

Budgetary small-sized unmanned flying devices allow charting trial areas with small expenses. They overlap range of heights from few meters to several hundred meters. Such devices are useful to a considerable degree for recording the dynamics of fruticose and foliose epigeic lichens. *Cladonia stellaris*, *C. arbuscula*, *Flavocetraria cucullata*, *Peltigera spp.*, *Stereocaulon spp.* are the most suitable as indicator species for such studies.

Keywords: *lichenometry, lichens, unmanned flying devices, aerophotography, charting, drones.*

Об авторах:

ПЧЕЛКИНА Татьяна Алексеевна – аспирант ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН», 107258, Москва, ул. Глебовская, 20-Б, e-mail: vipera91@yandex.ru.

ПЧЕЛКИН Алексей Васильевич – ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН», 107258, Москва, ул. Глебовская, 20-Б, e-mail: avp1956@yandex.ru.

Пчелкина Т.А. Малобюджетные методы аэрофотосъемки в лихенологических исследованиях / Т.А. Пчелкина, А.В. Пчелкин // *Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология.* 2014. № 3. С. 107-114.