

ВОЗМОЖНОСТИ И ОГРАНИЧЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БПЛА В ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Медведев А.А. – заведующий лабораторией картографии, кандидат географических наук, Институт географии РАН, a.a.medvedeff@gmail.com

Алексеев Н.А. - доцент, кандидат географических наук, Географический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова, valtuz@mail.ru

Курамагомедов Б.М. – инженер-исследователь, Институт географии РАН, bashirchik@gmail.com

Аннотация. Появление небольших, доступных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) и последние достижения в области автоматизированных методов обработки данных способствовали развитию новых методов и технологий крупномасштабного тематического картографирования. Технология БПЛА, из-за возможности его быстрого и простого развертывания, является наиболее подходящей для получения цифровых аэрофотоснимков высокого разрешения на небольшие территории. Сочетание высоко автоматизированной и точной навигация БПЛА, последние достижения в области автоматизированной обработки изображений и методов картографирования и постоянно продолжающиеся увеличение производительности персональных компьютеров стремительно сокращает барьеры в решении различных задач по тематическому изучению и картографированию локальных геосистем.

Ключевые слова: БПЛА, дистанционное зондирование, мониторинг, дешифрирование, аэрофотосъемка

POSSIBILITIES AND LIMITATIONS OF USE UAV IN GEOGRAPHICAL RESEARCHES

Medvedev A.A. – Ph. D., Institute of geography Russian academy of sciences

Alekssenko N.A. – Ph. D., Lomonosov Moscow State University

Kuramagomedov B.M. – senior scientist, Institute of geography Russian academy of sciences

Annotation. The appearance of small, affordable unmanned aerial vehicles (UAVs), and the latest achievements in the field of automated data processing techniques have contributed to the development of new methods and technologies for large-scale thematic mapping. UAV technology, the possibility of its fast and easy deployment, is most suitable for obtaining high resolution digital aerial images into small areas. The combination of highly automated and accurate navigation of UAV, the latest achievements in the field of automated imaging and mapping techniques and is constantly ongoing performance improvement of PCs is rapidly reducing barriers to solving various tasks on a thematic study and mapping of local geosystems.

Keywords: UAV remote sensing, monitoring, interpretation, aerial photo

Введение. Аэросъемка и применение ее результатов в географических исследованиях имеет давнюю историю. Еще в 1929 году академик А. Е. Ферсман, писал, что аэрометод необходимо рассматривать как новый перспективный метод в современной географии. В 1935 г. при Географическом обществе СССР была создана первая Комиссия аэрофотосъемки, которая занималась проблемами внедрения этих методов в различные географические исследования [2]. В основном съемка выполнялась с пилотируемых самолетов, а БПЛА долгое время относились к области военной разведке. Сегодня на развитие научной аэросъемки резко повлияли пришедшие на смену пилотируемым и аэростатам микро БПЛА. Они находят применение практически во всех географических дисциплинах.

Получение и использование в исследовательских целях аэроснимков с БПЛА стало возможным с начала 1990-х г. благодаря появлению цифровых фотокамер, характеристики которых позволили заменить малоформатные аэрофотоаппараты. Популярность БПЛА вызвана легкой развёртываемостью, мобильностью, оперативностью, низкой стоимостью и возможностью использования полезной нагрузки для получения данных сверхвысокого пространственного разрешения [9]. Аэросъемку условно можно разделить на производимую с помощью пилотируемых аппаратов, управляемых БПЛА дальнего действия, и микро БПЛА. По сравнению с другими данными аэрокосмосъемок снимки с БПЛА имеют сверхвысокое пространственное разрешение и высокую оперативность, но при этом покрывают съемкой относительно малые площади. Высотой полета (H) и фокусным расстоянием камеры (f) определяется масштаб (m) получаемого снимка: $m = f / H$ [26].

Различают два вида аэросъемки — плановая, где угол между главной оптической осью камеры и отвесной прямой мене 3° , и перспективная, где угол больше 3° . В зависимости от этого получают аэроснимки плановые и перспективные. Первый тип снимков используется для создания ортофотопланов и выполнения картографических задач. Применение в этих же целях перспективных снимков не допустимо из-за имеющихся существенных искажений в геометрии сцены, что затрудняет или делает невозможным точные измерения. Однако и перспективные снимки имеют географическую ценность: позволяя рассматривать объекты под определенным углом по ним довольно легко можно визуально распознать и идентифицировать объекты [7, 9, 23].

Выполнение аэрофотосъемки с целью профессионального картографирования предъявляет повышенные требования к выходным данным, а именно к выдерживанию геометрических параметров съемки [12]. Небольшие БПЛА экономичны в эксплуатации и портативны, однако менее стабильны с этой точки зрения. Как следствие, блоки снимков, полученные с БПЛА, обладающие отличной детальностью, яркостью и контрастом могут иметь низкое фотограмметрическое качество с точки зрения традиционных фотограмметрических пакетов [4, 8, 14, 29].

Обзор. Анализ статей по использованию БПЛА в научных исследованиях показал, что в журналах, входящих в перечень РИНЦ (на сайте <http://elibrary.ru/>), с 2000 г. опубликовано более 3000 статей, из которых картографированию посвящено всего 80, остальная часть работ раскрывает технические аспекты функционирования и усовершенствования аппаратов, тестирование, калибровки и выбор съемочной аппаратуры.

В зарубежных странах также работы по картографированию и мониторингу географической среды значительно уступают инженерным исследовательским работам. Так по данным реферативной базы научных публикаций Scopus (www.scopus.com), в зарубежных изданиях за период 2000-2014 г. опубликовано около 6 500 статей (в том числе 90 патентов) с ключевыми словами Unmanned aerial vehicles, Unmanned vehicles, UAV, Aircraft. Из этого количества публикаций основная часть приходится, как и в случае с отечественными работами, на долю технических работ (рис. 1).

Работ, связанных с географическими исследованиями с помощью БПЛА значительно меньше, хотя и характерна тенденция постоянного увеличения таких исследований.

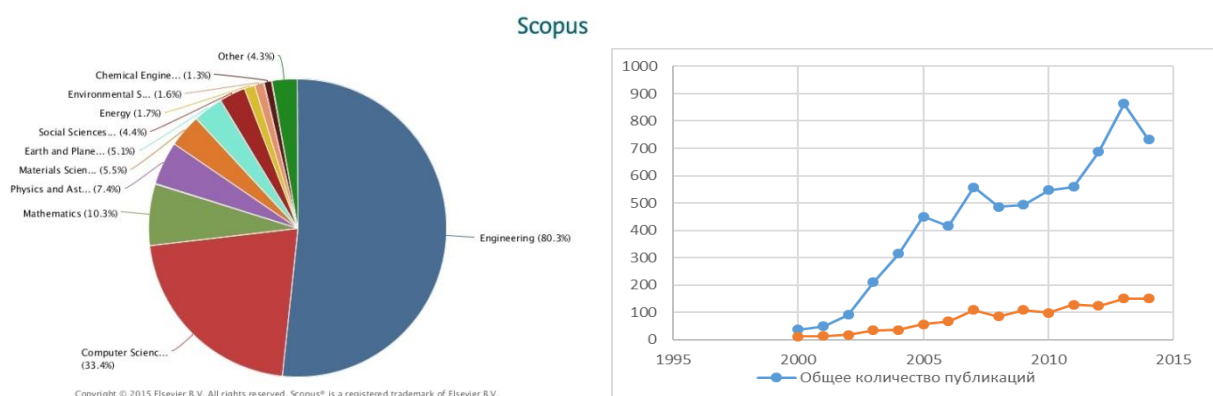


Рис. 1. а) распределение публикаций по научным дисциплинам; б) публикационная активность по теме БПЛА.

Анализ применения данных с БПЛА в отраслевой структуре географической науки по публикациям выявил, что наиболее часто БПЛА используется при исследованиях биогеографической направленности. Они нашли широкое применение в изучении почвенно-растительного покрова, особенно при проведении работ по точному земледелию.

Применение данных съемок в исследованиях почвенно-растительного покрова охватывает две основные группы задач: одна связана с изучением структуры почвенно-растительного покрова, а другая — с изучением динамических свойств и показателей. Для этих целей, как правило, используется многозональная или гиперспектральная съемки.

Существует ряд работ, в которых оцениваются возможности использования многозональной съемки растительного покрова [19, 21, 25] и вычисляется вегетационный индекс Green Normalized Difference Vegetation (GNDVI), где вместо обычного красного канала, используемого для получения «классического» NDVI, применяется зеленый: $GNDVI = (NIR - green) / (NIR + green)$. Есть примеры анализа возможности качественной и количественной оценки биомассы по гиперспектральным аэроснимкам [18].

В исследованиях посвященных изучению состояния сообществ мхов в Антарктиде, в окрестности полигона австралийской полярной станции, использовалась съемка в многозональном режиме, в т.ч. и тепловом [27]. Результаты эксперимента по вычислению биофизических параметров (как NDVI, трансформирование хлорофилла поглощения в коэффициент отражения, индекс и фотохимический индекс отражения (PRI)) для с/х культур дают хорошее представления об ограничениях использования БПЛА в данной предметной области [10]. Решение проблем, связанных с эффективной обработкой многозональной съемки для получения ортотрансформированных радиометрически откалиброванных изображений для целей классификации растительности на пастбищах

[20], открывают возможности проведения качественных тематических исследований на локальном уровне для широкого круга пользователей.

Все вышеперечисленные исследования, проблемы и возможности показывают, что результаты аэрофотосъемки, полученные с использованием недорогих БПЛА, если не лучше, то не хуже или сопоставимы по качеству [11] с данными традиционных пилотируемых бортовых камер.

Применение БПЛА в некоторых географических дисциплинах является единственно возможным из всех существующих методов дистанционного зондирования. Использование космических снимков высокого и сверхвысокого пространственного разрешения для решения зоогеографических задач, за исключением очень крупных животных, практически невозможно. Только применение аэрофотосъемки с пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов может дать необходимый результат. Для зоогеографических исследований интерес представляет тепловая съемка и авиаучеты изучаемых объектов, особенно в орнитологических исследованиях [1]. В своем исследовании колонии птиц сотрудники университета Росток (Германия) [17] использовали лишь фотографические снимки (без теплового канала), по которым произведено автоматическое выделение птиц средствами классических геоинформационных систем.

Обсуждение и результаты. При проведении географических исследований умение извлекать со снимков необходимую информацию является важным условием. На практике приходится использовать снимки, полученные с различных систем, свойства которых неодинаковы. Для оптимального решения задач обработки и дешифрирования снимков необходимо понимание особенностей регистрирующей аппаратуры.

В качестве съемочной системы при аэросъемках как правило используют специальные фотоаппараты — топографические аэрофотоаппараты. Эти фотоаппараты характеризуется существенно большей производительностью, более высокой метрической точностью, высоким пространственным и радиометрическим разрешением. Современные цифровые аэрофотоаппараты оснащены специальными устройствами, обеспечивающими аэрофотосъемку с заданным перекрытием, впечатыванием в кадр сенситометрического клина и навигационных данных, автоматическое регулирование экспозиции, измерения контрастности изображения и компенсацию его сдвига. Однако этот тип камер, ввиду большого их веса и крупных размеров, используется при съемке с пилотируемых воздушных судов или крупных БПЛА [5, 7, 14].

При самолетных аэрофотосъемках используются в основном среднее и крупноформатные камеры, а на БПЛА применяются малоформатные. К классу малоформатных камер относятся камеры с размером результирующего кадра до 64 Мп. Система более легких БПЛА отличается тем, что вместо высокоточных аэрофотоаппаратов возможно стало использовать неметрические цифровые фотокамеры бытового назначения. Типы и конструкции этих камер различны, но все имеют одинаковую принципиальную схему.

Интерес использования БПЛА связан также с возможностью использования различного съемочного оборудования, включая мульти и гиперспектральные системы. Особый интерес при изучении определённых объектов и явлений в окружающей среде используется дальний инфракрасный канал (тепловой). Регистрация этой части спектра производится телевизорами. Тепловизоры на спутниках в настоящее время используют датчики низкого пространственного разрешения, такие как TERRA/ASTER, имеющий пространственное разрешение 90 м., которые являются непрактичными для крупномасштабных исследований. Развитие неохлаждаемых тепловых приборов, которые позволяют избежать использования тяжелых и дорогих охлаждаемых датчиков, обеспечивают их использование на БПЛА и получение результатов с высоким пространственным разрешением [10].

На применение БПЛА накладываются не только технические, но и юридические ограничения. В различных странах имеются свои юридические особенности пользования БПЛА. В РФ использование БПЛА регулируется Воздушным Кодексом. До конца 2015 г. какие-либо указания по использованию БПЛА на территории РФ в законодательстве отсутствовали. 30 марта 2016 г. вступил в силу принятый 30 декабря 2015 г. в Госдуме специальный федеральный закон № 462-ФЗ "О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов". В соответствии с этими изменениями, обязательной является процедура сертификации и государственной регистрации БПЛА. При этом данное требование не распространяется на системы, включающие беспилотные гражданские суда, на которые сертификат летной годности выдается на основании сертификата типа или акта оценки конкретного судна на его соответствие требованиям к летной годности и требованиям в области охраны окружающей среды от воздействия деятельности в области авиации. Необходимость госрегистрация БПЛА предусмотрена, за исключением аналогичных гражданских, для аппаратов с взлетной массой от 0,25 кг [3]. Спустя некоторое время, отдельным указом Президента РФ от 30 июня 2016 г. были внесены изменения, и минимальная взлетная масса БПЛА для обязательной регистрации теперь составляет 30 кг.

При использовании БПЛА не стоит забывать и про ограничения связанные с «секретностью» и территориями специального назначения, включая зоны воздушного транспорта. Использование оборудования и публикация результатов потребуют дополнительных разрешений госорганов.

В целом, процесс обработки любых данных дистанционного зондирования, полученных с воздуха состоит из этапов предварительной обработке, фотограмметрической обработки и дальнейшего дешифрирования. Однако, каждый вид съемки имеет свои особенности (рис.2) [5].

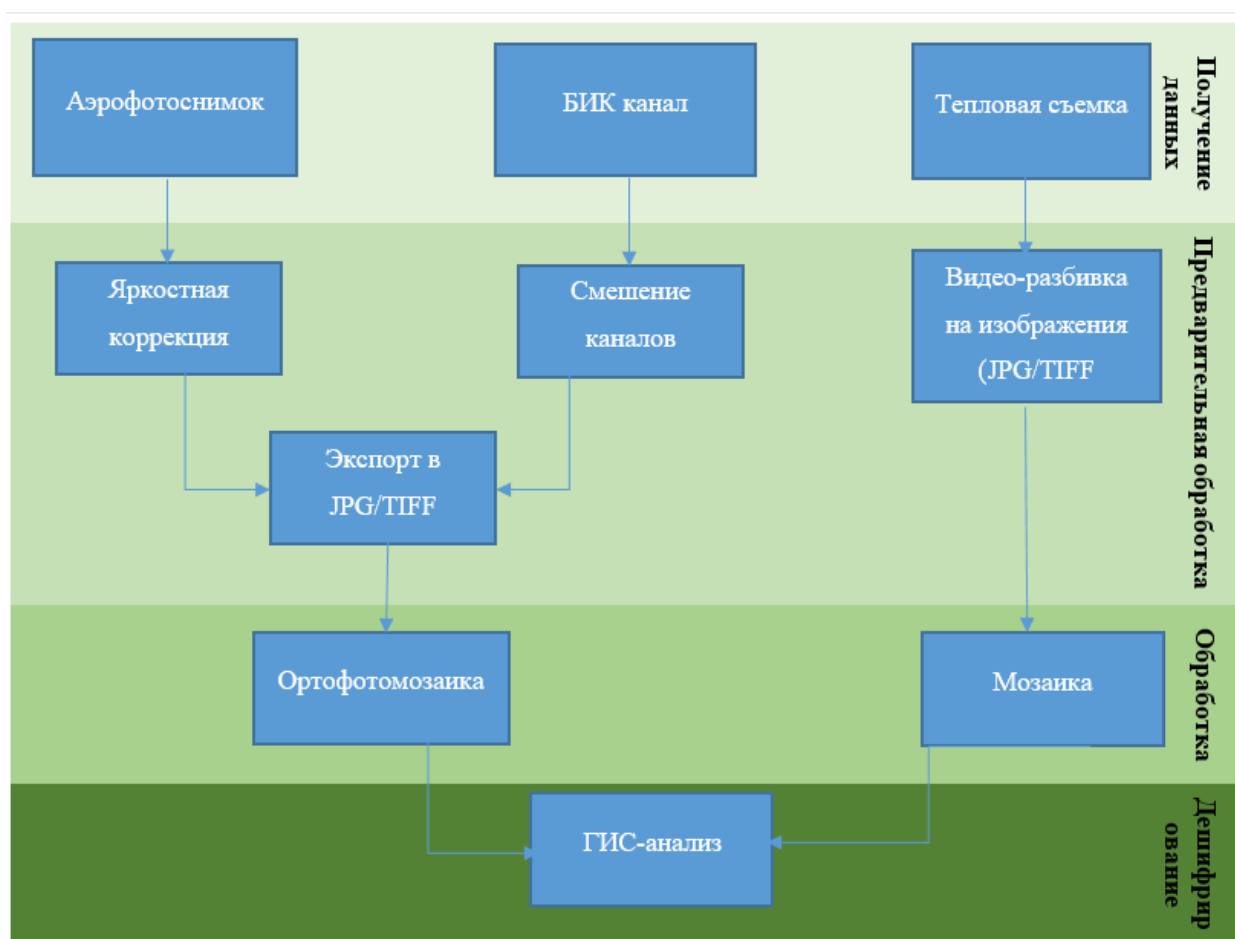


Рис. 2. Схема обработки данных с БПЛА

Основную информацию о структуре и состоянии природно-территориальных комплексов (ПТК) получают по снимкам в видимом и БИК диапазоне. При этом съемку различных компонентов ПТК проводят по изложенной выше методике, но при этом, в зависимости от объекта съемки, необходимо соблюдение некоторых специфических моментов.

Так при съемке рельефа и растительности необходимо помимо съемки в надири произвести и угловую съемку. Для фотограмметрической обработки по технологии компьютерного

зрения подходят лишь угловая съемка менее 20^0 . Проведение такой съемки способствует уменьшению доли мертвой зоны, которая получается на кадрах при съемке в надир. Важное условие проведения съемки в данном случае — соблюдение порога продольных (80-90%) и поперечных (60-70%) перекрытий снимков.

Особого подхода требуют съемки при зоогеографических исследованиях. Связано с фактором беспокойства - животные реагируют на шум, издаваемый БПЛА, и метод съемки подбирается исходя из особенностей объекта съемок. При проведении таких съемок необходимо подбирать такие параметры, как расстояние между объектом съемки и точкой взлета, высоту полета, а также вертикальную (для мультироторных систем) и горизонтальную скорость полета. На рисунке 3 приведена общая схема съемки и ключевые параметры, которые необходимо учитывать при проведении орнитологических исследований.



Рис. 3. Общая схема проведения орнитологических съемок

Тепловая съемка проводится по аналогии, но при этом предусмотрены ограничения высоты съемки. Связано это с параметрами используемой аппаратуры, максимальная высота на которой происходит фиксация тепловых аномалий не превышает 100 м (рис.4). В случае съемки с более больших высот информативность результатов падает, так как хорошо распознаются только крупные объекты, излучающие «тепло» отличное от фонового. Специфика тепловой съемки заключается также в том, что на стадии съемки не предъявляются требования к перекрытию изображений, т.к. съемка производится в режиме видео. Поэтому тут важно учитывать скорость полета съемочного БПЛА, оно зависит от частоты обновления кадра и калибровки тепловизора.

Снимки теплового диапазона со спутников практически не применяются в зоогеографии в силу низкого пространственного разрешения. Первым этапом при съемке в тепловом диапазоне с БПЛА является рекогносцировочная съемка для выявления тепловых аномалий на исследуемом участке. Затем производится выделение участков с предполагаемыми аномалиями для повторной съемки с более низких высот. Т.к. тепловая съемка не позволяет достоверно идентифицировать объект, то необходимо произвести съемку в видимом диапазоне.

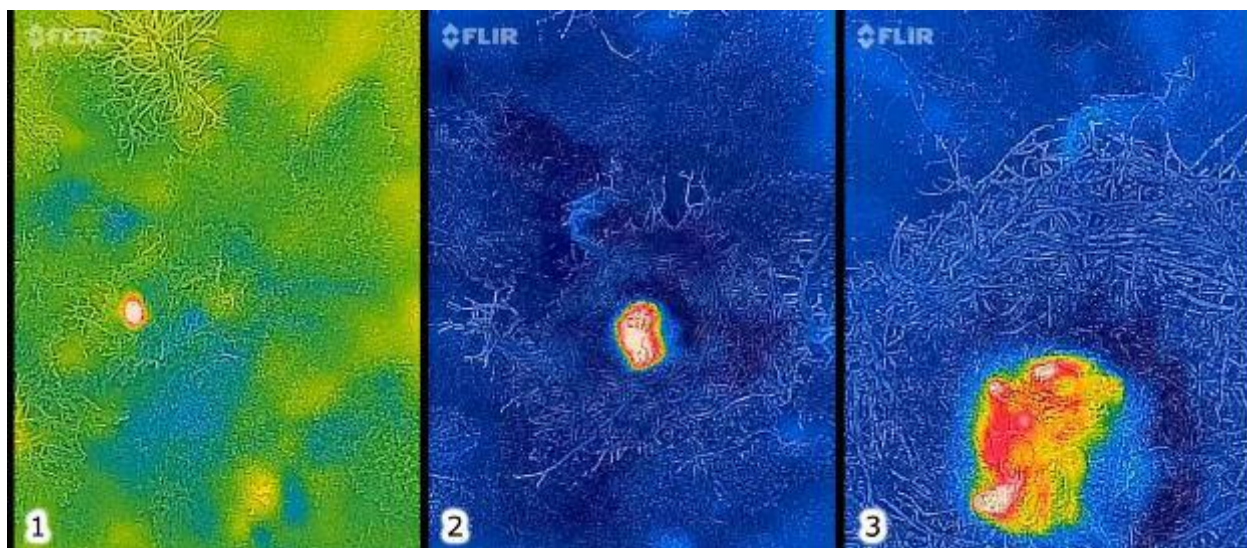


Рис. 4 Тепловой снимок гнезда орлана с высоты 50 м (1), 20 м (2), 10 м (3)

После получения данных снимков в видимом диапазоне также производится создание ортофотомозаик, на которых можно отмечать места гнездования птиц. Для достоверного дешифрирования используются оригиналы отдельных снимков (рис.5).



Рис. 5 Гнездо орлана (1), гнездо скопы (2), гнездо с птенцами (3)

По ортофотомозаике возможно автоматическое выделение и подсчет, встречающихся видов птиц. Такой метод подходит лишь в случаях отсутствия высокого растительного покрова.

Для изучения растительности предпочтительна съемка в видимом и БИК диапазонах [13]. Данные аэросъемок необходимо использовать наряду с полевыми маршрутами исследованиями как источники информации для дешифрирования снимков и сборов эталонов для автоматизированной классификации.

Высота съемки растительного покрова и фокусное расстояние камеры позволяют получать ортофотомозаики сантиметрового пространственного разрешения. При таком разрешении возникают проблемы, связанные с наличием яркостного шума, затрудняющего дешифрирование. Движущиеся листья и ветки также ограничивают функции сопоставления и порождают позиционные ошибки, что сказывается на качестве итогового изображения. Подобные проблемы решаются подбором другого оптимального

разрешения исходя из соотношения «Разрешение мозаики = (разрешение изображения X высота)/фокусное расстояние».

Дешифрирование растительного покрова на снимках видимого диапазона производится визуальным методом, по тем же дешифровочным признакам, что и при космической съемке [6]. Для достоверного дешифрирования и верификации удобно использовать исходные одиночные снимки.

В случае визуального дешифрирования по ортофотопланам лесного массива, с высоким проективным покрытием, возникают трудности с идентификацией ярусов древесной растительности, и лишь полученные перспективные снимки позволяют решить эту проблему.

Как уже отмечалось, БИК канал является наиболее информативным при изучении растительности, позволяющие выявлять растения в стрессовом состоянии [16]. При съемках в БИК канале с помощью светофильтров имеют свои ограничения на этапе обработки и дешифрования. Для полноценного применения результатов такого метода съемки необходима тщательная лабораторная калибровка фотоаппарата с фильтром и вычисление коэффициентов яркости. Без калибровочных показателей вычисления вегетационных и др. индексов, которые применяются в исследованиях растительности невозможны. Также к искаженным результатам, в частности высокому спектральному смещению, приводит нарушение принципа многозональности.

Таблица 1. Факторы, влияющие на качество изображения при изучении растительного покрова

Ветер	движущиеся листья и ветки ограничивают функции сопоставления и порождают позиционные ошибки
Освещение	при разной освещённости разные результаты
Тип растительности, видовой состав, фенологические особенности	одни и те же методы компьютерного зрения могут привести к разным результатам при различных проективных покрытиях, видового состава и сезона съемки

Технология компьютерного зрения позволяет получать из аэроснимков помимо ортофотомозаики и другие геоинформационные продукты (рис.6). Наиболее востребованные в географических исследованиях — цифровые модели местности (ЦММ) [22, 24, 28].

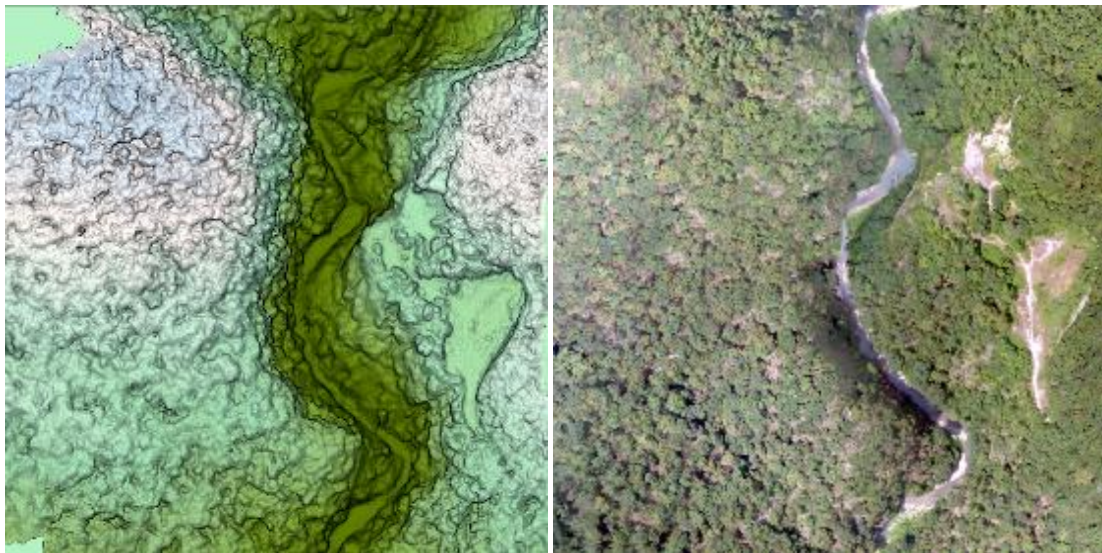


Рис. 6 ЦММ и ортофотомозаика р-на тисо-самшитовой рощи г. Сочи

Технология получения ЦММ сводится к построению полигональной модели в программных пакетах фотограмметрической обработки (Agisoft Photoscan, Pix4D, UAVMaster), которая привязывается к наземным опорным точкам [15]. Затем облако плотных точек и полигональные модели редактируются и обрабатываются в геоинформационных программных пакетах, в которых создается цифровая модель рельефа.

Выводы. Спектр возможностей съемки с БПЛА достаточно широк в разных отраслях исследований Земли. Проведение географических исследований с помощью БПЛА позволяет получить данные с сверхвысоким пространственным и временным разрешением, важные при проведении крупномасштабных исследований.

Технические особенности БПЛА позволяют рассматривать данный вид съемки как альтернативу подспутниковым наблюдениям, осуществляемых с пилотируемых аппаратов, или аэровизуальному дешифрированию.

Изученный теоретический опыт использования данных с БПЛА позволил предположить целесообразность использования высокодетальных данных дистанционного зондирования, полученных с помощью БПЛА, для целей крупномасштабного

тематического картографирования, а также получения данных для труднодоступных территорий (по проходимости, высоте и пр.).

По результатам исследований последних лет можно сделать вывод, что использование тепловой съемки с БПЛА в географических исследованиях, особенно показательно при зоогеографических исследованиях, переводит на новый качественный уровень.

В качестве перспективного использования БПЛА в географических исследованиях видится в направлении разработок методик съемок и использовании многозональных камер, тепловизоров, LIDAR-ов и гиперспектральных камер.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеенко Н.А., Медведев А.А., Карпенко И.А. Мониторинг животного мира на особо охраняемых природных территориях с помощью беспилотных летательных аппаратов // Известия Самарского научного центра РАН. 2015. Т. 17. № 6. С. 304–309.
2. Гавеман А.В. Аэрофотосъемка в географических исследованиях. Москва: Из-во МГУ, 1941.
3. ГИС-Ассоциации Г. портал. В России вступил в силу федеральный закон, который ужесточает правила использования БЛА [Электронный ресурс]. URL: <http://www.gisa.ru/113490.html> (дата обращения: 30.03.2016).
4. Зинченко О.Н. Беспилотные летательные аппараты: применение в целях аэрофотосъемки для картографирования [Электронный ресурс]. URL: <http://www.racurs.ru/?page=699> (дата обращения: 30.04.2014).
5. Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия М., 2004.
6. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. Москва: Аспект Пресс, 2004. 184 с.
7. Назаров А. Фотограмметрия. Минск: ТетраСистемс. 2006.
8. Севастьянова С.А., Серебряков Н.М. Методическое пособие по курсу «Техника и технология аэрокосмической съемки». Раздел «Цифровые аэрофотосъемочные системы». Москва: Изд. МИИГАиК, 2015. 58 с.

9. Aber J.S., Aber S.W., Pavri F. Unmanned Small-Format Aerial Photography From Kites for Acquiring Large-Scale , High-Resolution , Multiview-Angle Imagery // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2002. T. 34. № 1. С. 1–6.
10. Berni J. и др. Thermal and Narrowband Multispectral Remote Sensing for Vegetation Monitoring From an Unmanned Aerial Vehicle // IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 2009. Т. 47. № 3. С. 722–738.
11. Chen N. и др. Structural Analysis of the Hero Range in the Qaidam Basin, Northwestern China, Using Integrated UAV, Terrestrial LiDAR, Landsat 8, and 3-D Seismic Data1. Chen N. [и др.]. Structural Analysis of the Hero Range in the Qaidam Basin, Northwestern China, Using // IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing. 2015. № 9 (8). С. 4581–4591.
12. Colomina I., Molina P. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review // ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 2014. Т. 92. С. 79–97.
13. Dandois J.P., Ellis E.C. Remote sensing of vegetation structure using computer vision // Remote Sens. 2010. Т. 2. № 4. С. 1157–1176.
14. Eisenbeiß H. UAV photogrammetry. Switzerland: ETH Zurich, 2009.
15. Eltner A., Schneider D. Analysis of Different Methods for 3D Reconstruction of Natural Surfaces from Parallel-Axes UAV Images // Photogrammetric Record. 2015. № 151 (30). С. 279–299.
16. Gago J. и др.. UAVs challenge to assess water stress for sustainable agriculture // Agricultural Water Management. 2015. (153). С. 9–19.
17. Grenzdörffer G.J. UAS-based automatic bird count of a common gull colony // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2013. Т. 1. С. W2.
18. Honkavaara E. и др. Processing and assessment of spectrometric, stereoscopic imagery collected using a lightweight UAV spectral camera for precision agriculture // Remote Sens. 2013. Т. 5. № 10. С. 5006–5039.
19. Hunt E.R. и др. Acquisition of NIR-green-blue digital photographs from unmanned aircraft for crop monitoring // Remote Sens. 2010. Т. 2. № 1. С. 290–305.
20. Laliberte A.S. и др. Multispectral remote sensing from unmanned aircraft: Image processing workflows and applications for rangeland environments // Remote Sens. 2011. Т. 3. № 11. С. 2529–2551.
21. Mathews Adam J. A Practical UAV Remote Sensing Methodology to Generate Multispectral Orthophotos for Vineyards: Estimation of Spectral Reflectance Using Compact Digital Cameras // International Journal of Applied Geospatial Research. 2015. № October-December 2015 (6(4)). С. 65–87.

22. Niethammer U. и др. UAV-based remote sensing of the Super-Sauze landslide: Evaluation and results // Eng. Geol. 2012. Т. 128. С. 2–11.
23. Rinaudo F. и др. Archaeological site monitoring: UAV photogrammetry can be an answer // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2012. Т. 39. № B5. С. 583–588.
24. Stumpf A. и др. Ground-based multi-view photogrammetry for the monitoring of landslide deformation and erosion // Geomorphology. 2015. Т. 231. С. 130–145.
25. Su T.C., Chou H.T. Application of multispectral sensors carried on unmanned aerial vehicle (UAV) to tropic state mapping of small reservoirs: A case study of Tain-Pu reservoir in Kinmen, Taiwan // Remote Sensing. 2015. № 8 (7). С. 10078–10097.
26. Tahar K.N. Multi Rotor Uav At Different Altitudes for Slope Mapping Studies // ISPRS - Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2015. Т. XL-1/W4. № August 2015. С. 9–16.
27. Turner D. и др. Spatial co-registration of ultra-high resolution visible, multispectral and thermal images acquired with a micro-UAV over Antarctic moss beds // Remote Sens. 2014. Т. 6. № 5. С. 4003–4024.
28. Turner D., Lucieer A., Jong S.M. de. Time series analysis of landslide dynamics using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) // Remote Sens. 2015. Т. 7. № 2. С. 1736–1757.
29. Wang J., Xu T., Li X. Geometric correction for images of intersection taken by hovering UAV // Wuhan Daxue Xuebao (Xinxi Kexue Ban)/Geomatics and Information Science of Wuhan University. 2015. № 6 (40). С. 738–743.