

БПЛА-СЪЁМКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ ТЕМНОХВОЙНОЙ ТАЙГИ

А.Р. Сафин, Е.А. Коркина

*ФГБОУ ВО «Нижневартковский государственный университет»,
ул. Ленина, 56, 628600, Россия, Нижневартовск,
email: ajnur.safin.1999@mail.ru*

Рациональное использование лесных ресурсов подразумевает использование ряда тематических карт, включая почвенные карты. Пространственное распределение лесных ресурсов зависит от почвенных факторов, поэтому фиксация на почвенных картах определённых почвенных условий, включая гидротермические режимы представляет практический интерес в управлении лесными хозяйствами. Темнохвойные леса тайги (урманы), елово-пихтово-кедровой формации, являются затруднительными объектами в области картографирования. Применяемые в последнее время методы дешифрирования космоснимков не решают задач по определению структуры почвенного покрова, выявлению границ типового разнообразия почв. Это связано с высокими значениями проективного покрытия тёмно-хвойной растительности и однородным фототонном изображением космоснимка. В нашем исследовании для изучения дифференциации почвенного покрова в елово-пихтово-кедровых формациях используется метод аэрофотосъёмки с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА) *DJI Phantom 4*. В результате исследования были определены методические аспекты аэрофотосъёмки почвенного покрова темнохвойных лесов, с помощью БПЛА.

Ключевые слова: БПЛА; дистанционные методы; дешифрирование таёжных почв; криометаморфические почвы.

Возможности использовать беспилотные летательные аппараты (БПЛА) при изучении природных объектов в последнее время серьезно расширились. Стало возможным применять аэрофотосъёмку с помощью БПЛА при изучении почвенного покрова. Благодаря базовым принципам дешифрирования аэрофотоснимков, применяемых при изучении почв, а также современным методам обработки с использованием цифровых технологий, появились возможности идентифицировать дифференциацию почвенного профиля. Методы аэродешифрирования не новые, с 1930-х гг. материалы аэрофотосъёмки применялись для решения сельскохозяйственных задач [1, 2]. На сегодняшний день основными проблемами дальнейшего развития этих методов являются технические: разработка многоканальных портативных камер, а также усовершенствование подходов к геометрической коррекции изображений [3]. В последнее время, появляются методические работы, описывающие основы принципа работы с БПЛА и

детектирования характеристик и свойств почв [4]. В дальнейшем развитии нуждаются также методы детектирования отдельных свойств почв [3], включая гидрологический режим почв. Однако, это затруднительно, несмотря, что есть описательные работы [5] по выявлению типа почвы, по яркостной температуре и влагосодержания растительного покрова и моделированию гидрологической модели местности с гидролокационной съемки местности [6]. Так, например, влажность верхних органических горизонтов криометаморфических почв в сотни раз отличается от нижних минеральных горизонтов [7].

При составлении крупномасштабных почвенных карт с использованием БПЛА существуют проблемы полевого этапа. Они заключаются в двух аспектах: отсутствие топоосновы для картографирования и необходимости поиска границ фитоценозов, которые традиционно и вполне обосновано рассматриваются в качестве границ фаций [8]. Как указывают авторы статьи решение может быть осуществлено с использованием GPS-станции и GPS-приемника, привязанного к местным координатам. Границы комплексного описания фаций отбиваются на трансектах и данных беспилотной аэрофотосъемки.

В данной работе вкратце описываем методические принципы работы построения крупномасштабной карты почв с помощью БПЛА-съёмки в сложных лесо-растительных условиях урманного леса таёжной зоны Западно-Сибирской равнины.

Объектом изучения методом аэрофотосъемки стал почвенный покров водораздельной поверхности Аганского увала, с поверхности представленный среднебонитетным елово-пихтово-кедровым лесом. Возвышенность Аганского увала располагается в Обском бассейне между реками Аган и Вах и относится к северной части Западно-Сибирской равнины. Рельеф Аганского увала холмисто-увалистый, расчлененный ложбинами, мелкими реками и ручьями. Ложбины имеют недостаточную дренированность, близкое залегание грунтовых вод к поверхности. Абсолютные высоты Аганского увала колеблются в пределах 60–130 м абсолютной высоты над уровнем моря. Здесь присутствуют мерзлотные формы рельефа (бугры пучения, термокарстовые западины и другие). Увал с поверхности сложен пылеватыми суглинками позднелейстоценовой эпохи. Данное отложение является основой для развития почв криометаморфического отдела, дифференциация которых в структуре почвенного покрова достаточно сложна.

Растительность является основным косвенным индикатором дешифрирования аэрофотоснимка, по которому можно определить тип почв. Для съемки с БПЛА растительный покров является определяющей поверхностью. Поэтому понимание растительности является важным аспектом при анализе аэрофотосъемки. Исследуемый лесной выдел представлен следующими видами древесной и кустарниковой растительности: *Picea obovata* (Ledeb.), *Abies sibirica* (Ledeb.), *Pinus sibirica* (DuTour), *Pinus sylvestris* (L.),

Betula pendula (Roth), *Alnus incana* (L.), *Juniperus sibirica* (Burgsd.), *Sorbus sibirica* (Hedl.), *Padus avium* (Lam.), *Rosa acicularis* (Lindl.). Таксационная характеристика лесного выдела по результатам натурного обследования: состав – 11Е7П5К2С2Б; бонитет – IV; полнота – 0,74; запас – 215 м³/га.

Цифровая модель рельефа была построена с помощью программного обеспечения Agisoft Metashape Professional. Аэрофотоснимки для обработки были получены с помощью БПЛА *DJI Phantom 4*, который оснащен встроенной камерой, с разрешением видео 1080 р на скорости до 30 кадров в секунду и фотографии с разрешением 12 Мрх. Улучшенная оптика позволяет достичь большей чистоты съемки, меньшей зернистости и лучшего качества изображения.

Основные задачи, решаемые пользователями при помощи программы Agisoft Metashape – построение цифровой модели, ортофотоплана и ЦМР. Работа с проектом осуществляется в три этапа:

1. Первый этап называется выравниванием и представляет собой блочную фототриангуляцию методом независимых связей. На этом этапе Metashape находит общие точки снимков и по ним определяет все параметры камер: положение, ориентацию, внутреннюю геометрию (фокусное расстояние, параметры дисторсии и т.п.). Результатами являются облако связующих точек в 3D пространстве модели и данные о положении и ориентации камер.

2. На втором этапе Metashape выполняет построение поверхности: полигональной 3D модели и/или Цифровой модели местности (ЦММ) 2.5D. Полигональная модель может быть текстурирована для фотореалистичного отображения объекта съемки, а в последствии экспортирована в различных форматах, совместимых с приложениями САД и средами для трехмерного моделирования.

3. На третьем этапе в Metashape доступно построение ортофотоплана, который может быть соответствующим образом географически привязан и использоваться в качестве подложки для различных карт. Кроме того, ортофотоплан может быть экспортирован для последующего анализа и векторизации.

На рис. 1 приведена технологическая схема основных этапов реализации обработки результатов аэрофотосъемки.



Рис. 1. Технологическая схема метода обработки результатов аэрофотосъемки

Аэрофотографии, полученные с помощью БПЛА, автоматически имеют привязку к координатам, использование ГНСС-приемников обусловлено получением более высокой точности, как в плане, так и по высоте.

В результате проведения исследования на первом этапе нами определены положения аэрофотоснимков в системе координат объекта или географической системе координат по элементам внутреннего и внешнего ориентирования снимков (рис. 2).

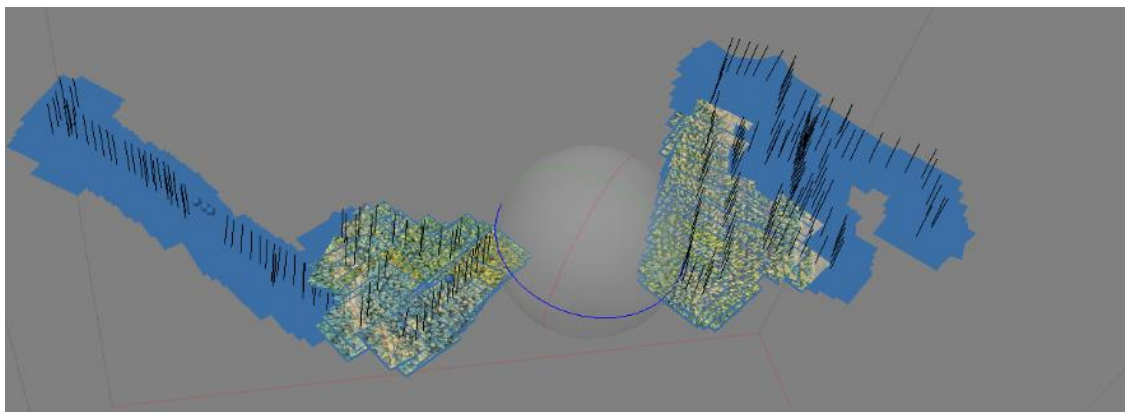


Рис. 2. Эскизы камер в программе Agisoft Metashape

В результате операции уравнивания мы получаем разреженное облако точек, данные о положении и ориентации аэрофотоснимков. Эти данные используются на дальнейших стадиях построения ортофотоплана местности и почвенной карты.

Для введения в нашу модель точек с известными координатами необходимо построить предварительную модель по разреженному облаку точек. Затем необходимо ввести координаты маркеров, полученных с помощью ГНСС-приемника. Для этого в программе открывается изображение, находится характерная точка к которой производилась привязка. В данном случае были использованы реперы, которые хорошо заметны на контрасте с окружающей местностью (мы использовали полиэтиленовый белый пакет). При установке маркера на одном изображении Agosoft автоматически показывает снимки, на которых присутствует этот же репер, как маркер. После введения уточненных координат реперов необходимо перепривязать снимки по новым координатам. Цифровая модель пересчитывается автоматически.

На втором этапе обрабатывается плотное облако точек, которое представляет собой точки с известными координатами X , Y , Z в системе координат объекта и яркости их исходных изображений. Классическим методом построения является метод полуглобального отождествления Semi-global matching (SGM). Алгоритм основан на обработке отдельных стереопар, которые заранее трансформируются вдоль базисных линий. В результате каждый пиксель на левом снимке находится на соответствующей линии на правом снимке. Задача состоит в нахождении соответствующих

друг другу пикселей на левом и правом снимках. После построения плотного облака точек необходимо в полуавтоматическом режиме классифицировать точки и удалить лишние элементы, например: воду или элементы растительности.

Третий этап посвящен построению карты высот. Здесь полученная цифровая модель рельефа дает информацию пространственного распределения структуры почвенного покрова. Непосредственно почвенная характеристика накладывается на карту высот благодаря полевым и натурным исследованиям. Для построения почвенной карты такой модели высот будет достаточно, для выделения типового разнообразия почв. Так как полевые данные позволили выделить, где происходит дифференциация почвенного профиля, вывести границы органо-криометаморфической почвы без дифференциации элювиального горизонта и светлосём с выделением подзолистого горизонта.

Описанная нами методика составления цифровой картографической модели для построения почвенной карты в условиях таёжной растительности основывается на системной геоморфодинамической концепции и методе обработки аэрофотоснимков и геоданных, снятых с БПЛА. Она позволит в дальнейшем построить пространственную модель распределения влажности в почве, получить представления о гидрологических режимах в почве и визуализировать структуру почвенного покрова трудно картографируемых участков, таких как Аганский увал. Влажность почв – важный фактор в лесном хозяйстве (для проектирования хозяйственных мероприятий), но и в целом для решения задач природопользования и экологического мониторинга.

Благодарности: Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (22-17-20011), а также при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-05259 «Посткриогенный педогенез Западно-Сибирской равнины», и Российского научного фонда и Правительства ХМАО-Югры № 22-17-20011, <https://rscf.ru/project/22-17-20011>.

Библиографические ссылки

1. Левенгаупт А. И. Опыт применения аэрофотосъемки при изучении Днепровских плавень // Материалы по проблеме Нижнего Днепра. 1931. Т. 2. С. 143–152.
2. Шмакова М. С. Картографирование почвенного покрова с использованием материалов аэро- и космической фотосъемки : специальность 06.01.03 "Агрофизика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук / Шмакова Мария Сергеевна. Москва, 1984. 46 с.

3. *Савин И. Ю., Вернюк Ю. И., Фараслис И.* Возможности использования беспилотных летательных аппаратов для оперативного мониторинга продуктивности почв // Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2015. № 80. С. 95–105.
4. *Гафуров А. М.* Возможности использования беспилотного летательного аппарата для оценки почвенной и овражной эрозии // Ученые записки Казанского университета. Серия: Естественные науки. 2017. Т. 159, № 4. С. 654–667.
5. *Богданчиков И. Ю., Колошеин Д. В., Анисаров И. С.* Современные технологии определения влажности и температуры почв с использованием беспилотных летательных аппаратов // Актуальные вопросы современной науки и образования : сборник статей XXII Международной научно-практической конференции, Пенза, 05 сентября 2022 года. Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г. Ю.), 2022. С. 83–86.
6. *Пархоменко Н. А., Нугманов А. А.* Использование 3D-модели для гидрологического анализа сельскохозяйственной территории по данным беспилотных летательных аппаратов // Электронный научно-методический журнал Омского ГАУ. 2022. № 2 (29).
7. *Сафин А. Р.* Цифровая модель транспортировки влаги в почвах возвышенности Аганского увала // XXII Всероссийская научно-практическая конференция Нижневартковского государственного университета : Материалы конференции, Нижневартовск, 06–07 апреля 2020 года / Научный редактор: Д. А. Погоньшев. Часть 1. Нижневартовск: Нижневартковский государственный университет, 2020. С. 283–287.
8. Беспилотная аэрофотосъемка для задач крупномасштабного картографирования горных тропических лесных ландшафтов / И. П. Котлов, Р. В. Горбунов, М. Ф. Фам, В. А. Т. Дин // Труды Карадагской научной станции им. Т. И. Вяземского – Природного заповедника РАН. 2018. № 2 (6). С. 63–84.