

## ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСОВ

*Бузмаков Сергей Алексеевич*, доктор географических наук, профессор, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: lep@psu.ru

*Андреев Дмитрий Николаевич*, кандидат географических наук, старший преподаватель, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: adn87@yandex.ru

*Санников Павел Юрьевич*, кандидат географических наук, ассистент, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 614990, Российская Федерация, г. Пермь, ул. Букирева, 15, e-mail: sol1430@gmail.com

В настоящее время беспилотные летательные аппараты широко применяются в различных направлениях фундаментальных исследований и прикладных работ. Применение беспилотной авиации востребовано в геологических, географических, биологических, археологических научных исследованиях. В область практического применения входит учет численности популяции крупных млекопитающих в охотничьих хозяйствах, мониторинг повреждений газо и нефтепроводов, контроль состояний высоковольтных линий электропередач, межевание, кадастр, инвентаризация объектов недвижимости, создание тематических геоинформационных баз данных, широкий спектр инженерных изысканий и проектирования. Кроме того, одной из актуальных сфер стало изучение состояния лесов, лесное хозяйство, фитопатология, мониторинг пожаров. В статье представлен краткий литературный обзор мирового опыта использования беспилотной авиации для изучения лесов. Освещаются вопросы применения беспилотных самолетов для лесоустроительных работ, лесной инвентаризации, фитопатологических исследований, мониторинга очагов горения леса и пожароопасных ситуаций, оценки влияния техногенного воздействия на лесные экосистемы и в целях фиксации фактов незаконной рубки леса. Дана общая характеристика технических особенностей беспилотного летательного аппарата, используемого в Пермском государственном национальном исследовательском университете: скорости, максимальной продолжительности полета, рабочих высот аппарата. Также описан состав полезной нагрузки, порядок развертывания комплекса, функции оператора и выпускающего, особенности управления и радиосвязи, представлены ограничения при использовании самолета. Отдельно характеризуются технические характеристики продуктов аэрофотосъемки, сделано сравнение со снимками, сделанными из космоса. Основной объем статьи посвящен собственным результатам получения и обработки данных аэрофотосъемки. Описаны основные этапы фотограмметрической обработки полученных изображений в программах Photoscan и Photomod, необходимые для создания ортофотоплана: конвертация данных наземного GNSS-приемника, вычисление координат снимков, пространственное выравнивание фотографий и создание разреженного облака точек, оптимизация ошибок, создание плотного облака точек и его классификация, создание текстуры, цифровой модели местности, цифровой модели рельефа, экспорт ортофотоплана. Проанализированы перспективы использования беспилотного летательного аппарата для исследования состояния лесов, а также сложности, возникающие в процессе обработки материалов съемки.

**Ключевые слова:** беспилотный летательный аппарат, исследования состояния лесов, фотограмметрическая обработка, ортофотоплан, цифровая модель рельефа

## APPLYING OF UNMANNED AERIAL VEHICLE IN THE STUDY OF FOREST CONDITIONS

*Buzmakov Sergey A.*, D.Sc. in Geography, Professor, Perm State National Research University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: lep@psu.ru

*Andreev Dmitriy N.*, C.Sc. in Geography, Senior Lecturer, Perm State National Research University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: adn87@yandex.ru

*Sannikov Pavel Yu.*, C.Sc. in Geography, Assistant, Perm State National Research University, 15, Bukireva st., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: sol1430@gmail.com

Nowadays, unmanned aerial vehicles are widely used for various tasks of fundamental researches and applied studies. The applying of unmanned aircraft claimed in geological, geographic, biological, archeological research. In the practical application included counting quantity of population of large mammals in the hunting grounds, monitoring damage gas and oil pipelines, control of the state high voltage power lines, land surveying, cadastre, inventory of houses, creation of thematic geographic information databases, a wide range of engineering survey and engineering design. In addition, one of the important areas of the study was the condition of forests, forestry, plant pathology; monitoring fires. The article presents a brief literature review of the world experience in the use of unmanned aircraft for research of forests. The problems of the use of unmanned aircraft for forest inventory, timber inventory, phytopathological research, monitoring points of burning forests and fire situations, evaluation of anthropogenic impacts on forest ecosystems and fixing the facts of illegal logging. The general characteristic of the technical features of the unmanned aircraft used in the Perm State National Research University was done. We describe the characteristics such as speed, maximum flight duration, working height of the machine. Also disclosed is the payload unit, the order of assembling complex, the functions of operator and take-off man, radio management features and limitations for the aircraft using are presented. Separately are characterized by product specifications aerial photography, made a comparison with images taken from space. The main part of the article is devoted to the results of own data receiving and processing of aerial photography. The basic stages of photogrammetric processing of the image in Photoscan and Photomod, needed to create the orthophoto were described. The list includes steps such as conversion of GNSS-receiver data, the calculation of the coordinates of images, the spatial alignment of the pictures and the creation of a rarefied point cloud, optimization errors, creating a dense point cloud and its classification, the creation of textures, digital terrain models, digital elevation models, and export orthophoto. The prospects of using unmanned aircraft for the study of forest conditions as well as the difficulties associated with processing of materials survey were analyzed.

**Keywords:** unmanned aerial vehicle, studies of forests conditions, photogrammetric processing, orthophoto, digital terrain model

**Введение.** В Пермском государственном национальном исследовательском университете (ПГНИУ) ведутся научно-исследовательские работы с использованием аэрофотосъемки с беспилотного летательного аппарата (БПЛА). Основное направление таких работ – исследования лесов, для обеспечения устойчивого лесопользования.

На сегодняшний день в мире накоплен большой опыт применения беспилотных летательных аппаратов для нужд лесопользования. Анализ литера-

туры [1, 2, 5–17] позволяет выделить 5 основных направлений использования БПЛА при изучении лесов.

1. Лесоустройство и определение отдельных характеристик. С помощью данных аэрофотосъемки выполняется установление, либо обновление (детализация) точных границ отдельных таксационных выделов и целых кварталов [7, 8]. В ряде случаев уточняются отдельные таксационные характеристики: породный состав, возраст насаждений, наличие тех или иных повреждений, болезней лесного полога [8]. Использование БПЛА также позволяет планировать проведение лесозащитных мероприятий и мероприятий по сохранению биоразнообразия. Аэрофотосъемка используется при инвентаризации объектов лесной инфраструктуры (лесных дорог, просек и т.п.) [15].

2. Лесопатологические обследования. Дистанционная оценка лесопатологического состояния насаждений развивается, как одна из частных задач, решение которых необходимо при лесоустройстве [11, 14]. Дистанционными методами невозможно непосредственно обнаружить наличие вредителей или болезней в насаждениях. Однако их присутствие с большой долей вероятности определяется опосредованно, через повреждение ими лесного полога [1, 2].

Наиболее информативными являются прямые дешифровочные признаки: размер и форма кроны, просматриваемость лесного полога в глубину, плотность тени, цвет хвои или листьев, наличие отдельных сухих ветвей, структура лесного полога, суховершинность, наличие валежника [1].

3. Противопожарная деятельность. Противопожарный мониторинг включает патрулирование локальных территорий лесного фонда с целью обнаружения лесных пожаров, а также информационное обеспечение наземных команд пожаротушения. При осмотре локализованных пожаров основное внимание обращается на дымовые точки по периферии пожара (горящие и дымящиеся пни, стволы деревьев, кучи древесного хлама, и т.д.), степень их опасности с точки зрения возможности возобновления и распространения огня, на наличие и работу людей, оставленных на месте пожара для его полной ликвидации [6, 17]. Для обнаружения факта горения применяются оптические видеокамеры, на которых легко фиксируется задымление. В то же время выявление конкретного очага, либо контура горения часто бывает затруднено по причине сильной задымленности. В таких случаях актуальным становится использование инфракрасных видеокамер (тепловизоров) [12].

4. Техногенное воздействие на лес. Для оценки техногенного воздействия на лесные экосистемы осуществляется сравнение исходного и текущего состояния лесного фонда, оценивается динамика состояния насаждений в пространстве и во времени, определяются фазы трансформации лесных экосистем, вычисляется экологический ущерб [5, 13, 16].

5. Противодействие незаконной хозяйственной деятельности. При оценке незаконной хозяйственной деятельности в лесах на карту наносятся действующие лесосеки и переданные в аренду участки лесного фонда [10].

С помощью аэрофотосъемки происходит сравнение реальных рубок с границами арендных участков. В результате выявляются участки, подвергшиеся незаконным рубкам. Геодезическая точность привязки аэрофотосъемки обеспечивает определение точного положения и площади вырубленного участка – важных параметров для оценки экологического ущерба [9].

Для аэрофотосъемки в ПГНИУ используется БПЛА российского производства – Supercam S250-F. Полезная нагрузка аппарата: профессиональная

фотокамера; бортовой высокоточный GNSS-приемник геодезического класса; тепловизор; курсовая видеокамера; поисковый радиомаяк. Основные тактико-технические характеристики БПЛА: крейсерская скорость – 70 км / ч; максимальная скорость – 120 км / ч. Рабочая высота полетов – от 300 до 1200 м.

Для запуска беспилотного аппарата необходимо 2 человека – оператор и выпускающий. Функции оператора: выбор места взлета и посадки, формирование и загрузка полетного задания, управление БПЛА с помощью наземной станции управления (НСУ) при взлете, посадке и в процессе полета. Функции выпускающего: сборка аппарата, проведение предполетных проверок, установка катапульты и подготовка взлетной полосы, выпуск БПЛА с катапульты, подача команд оператору при взлете и посадке.

Посадка самолета производится на парашюте. В случае незапланированной потери высоты (отказ двигателя, обледенение) срабатывает аварийный выброс парашюта.

Данные телеметрии (высота, скорость, крен, тангаж, курс, мощность работы двигателя) измеряются с помощью приемника воздушного давления (ПВД) и альтиметра, а также системы автоматического управления (САУ), они установлены на борту БПЛА. Данные бортового GNSS-приемника отображаются в виде маршрута на НСУ.

В полете БПЛА следует по заранее заданному маршруту, загруженному в САУ. При этом оператор имеет возможность корректировки маршрута, высоты, частоты съемки и других характеристик непосредственно во время полета. В случае чрезвычайных ситуаций оператор дает команду экстренного возвращения самолета, может увеличить скорость, остановить двигатель, выпустить парашют.

Сообщение между БПЛА и НСУ (команды оператора и данные телеметрии) происходит посредством радиосвязи. Для этого вблизи НСУ устанавливается блок антенн. Дальность радиосвязи – 50–100 км, её качество в значительной степени зависит от рельефа, погоды и других факторов. В случае полной потери радиосвязи БПЛА прекращает выполнение маршрута и (по прямой) следует на точку влета, после чего происходит автоматическая посадка.

Эксплуатация БПЛА возможна (в условиях Пермского края) практически круглогодично, рабочий диапазон температур – от –30 до +40 °С. Запуск аппарата запрещен лишь в экстремальных погодных условиях: при сильном ветре (более 10 м / с), проливном дожде, граде и грозе.

Характеристики получаемых ортофотопланов: масштаб до 1:500; разрешение до 4 см / пикс; плановая точность до 20 см; точность цифровой модели местности по высоте до 16 см. Максимальная продолжительность полета – около 3 ч. Площадь съемки зависит от заранее заданных характеристик (высоты полета и ширины перекрытия снимков) и составляет от 1000 до 3000 га.

Для информационного обеспечения лесоустройства кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета выполнены работы по созданию цифрового ортофотоплана лесов агропредприятия «Заря Путино». Общая площадь обследованных участков – около 15 тыс. га. Полеты выполнены 21–22 мая 2015 г., на высоте 850 м (рис. 1).

В методическом плане, наиболее сложным является этап фотограмметрической обработки. Эта процедура требует высокой квалификации оператора в области обработки данных аэрофотосъемки. Фотограмметрическая обработка проводится с помощью программ Agisoft Photoscan [3] и Photomod UAS [4].



Рис. 1. Снимок, полученный с БПЛА Supercam-250 (высота съемки – 850 м)

Программа Agisoft Photoscan используется для предварительной обработки исходных снимков, для создания цифровых моделей рельефа (ЦМР) и местности (ЦММ) и первичного варианта ортофотоплана. Порядок обработки снимков в программе Agisoft Photoscan:

- создание проекта с заданной системой координат. В проект добавляются снимки, данные внутреннего и внешнего ориентирования (файл с координатами центров изображений из программы заранее подготовленный в программе Justin);
- разделение снимков на блоки. Операция необходима для последующего корректного анализа всего объема изображений;
- процедура выравнивания фотографий. Выравнивание требуется для определения положения и ориентации камеры для каждого кадра и построения разреженного облака точек (рис. 2);

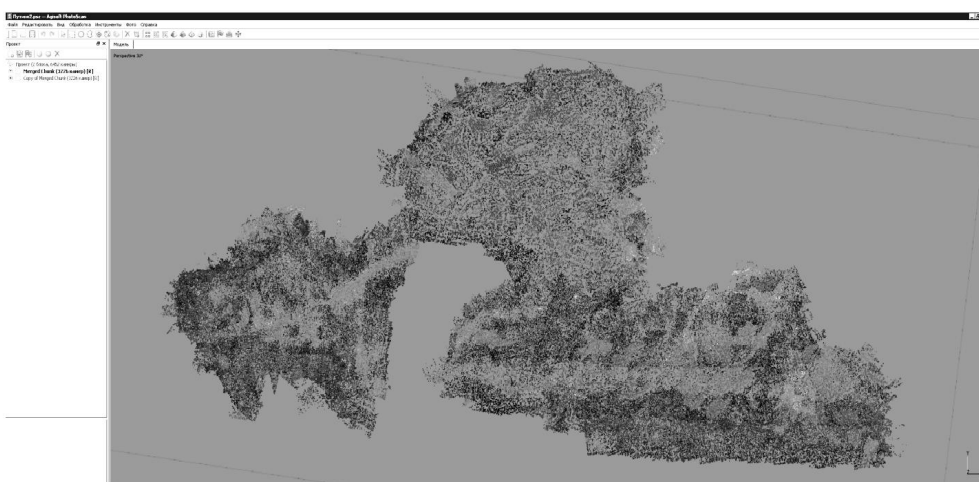


Рис. 2. Разреженное облако точек

- удаление лишних точек в плоскости для исключения ошибочно-определившихся точек разреженного облака;
- оптимизация камер выполняется для пересчета разреженного облака точек с целью снижения общей погрешности;
- процесс объединения блоков для дальнейшей единой обработки всех изображений;
- создание плотного облака точек (рис. 3). Основываясь на рассчитанных положениях камер, программа вычисляет карты глубины для каждого изображения и на их основе строит плотное облако точек. Плотное облако точек может быть отредактировано и классифицировано или экспортировано для дальнейшего анализа;
- построение модели. PhotoScan поддерживает несколько методов восстановления трехмерной полигональной модели и предоставляет ряд настроек, позволяющих выполнить оптимальную реконструкцию для конкретного набора фотографий;
- классификация плотного облака точек для отделения точек земли с другими объектами (деревьев, зданий и др.);
- создание цифровой модели рельефа (ЦМР) и цифровой модели местности (ЦММ). При помощи вычитания данных высот ЦММ из ЦМР создается карта высот объектов (деревьев, зданий, инженерных сооружений);
- импорт данных для программы Photomod UAS.

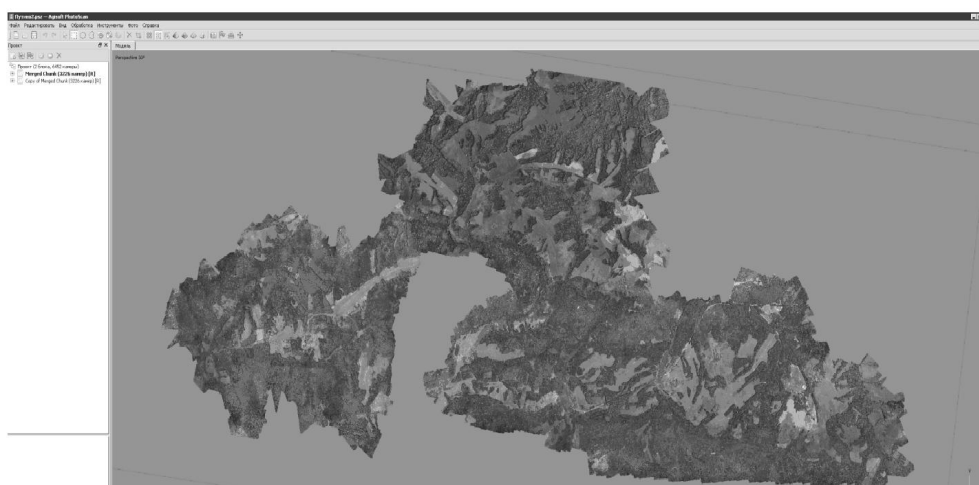


Рис. 3. Плотное облако точек

Полученные данные добавляются в проект программы Photomod UAS и далее выполняется работа по созданию улучшенного ортофотоплана, включающая следующие этапы:

- формирование блока изображений. Этап включает в себя подготовку изображений (преобразование снимков во внутренний формат программы, сжатие изображений) и их добавление;
- импорт данных внутреннего (углы поворота осей камеры, направление полета) и внешнего (координаты центров проекций снимков) ориентирования. Эта операция необходима для того, чтобы корректно ориентировать каждый полученный снимок в пространстве и во времени;

- построение сети, автоматическая триангуляция. Измерение координат связующих и опорных точек. Построение накладного монтажа (рис. 4). В рамках этапа создается сеть опорных и связующих точек, происходит серия проверок на точность;
- уравнивание блока изображений. Этот блок операций требуется для правильного ориентирования изображений относительно друг друга. Взаимное ориентирование снимков внутри и между маршрутами;
- создание проекта в программе GeoMosaic (модуле PhotoMod). Этап включает в себя загрузку изображений, определение выходных каналов, определение системы координат, расчет рабочих областей для построения порезов;

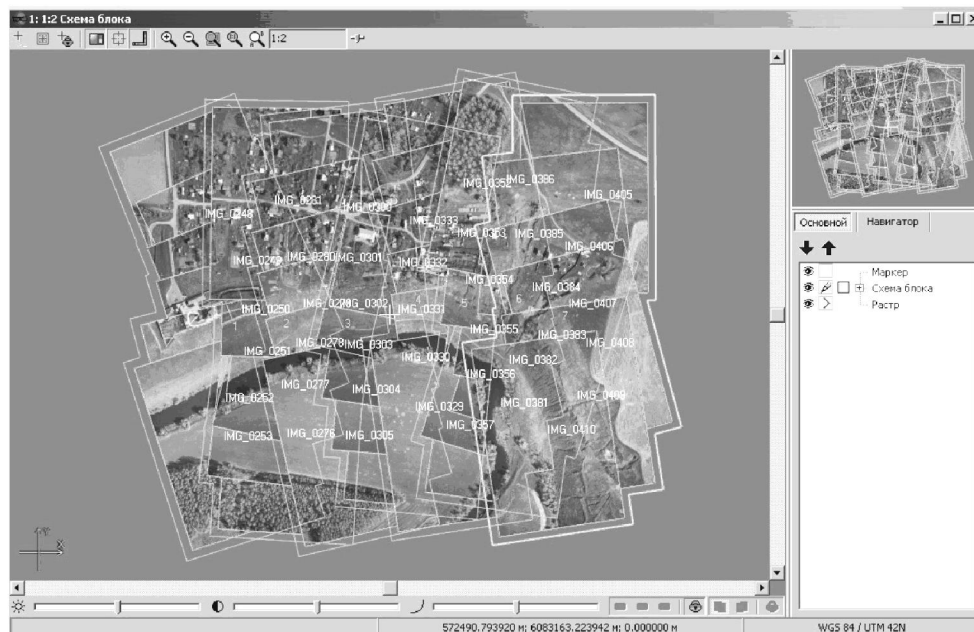


Рис. 4. Накладной монтаж

- построение и редактирование порезов. Операция необходима для любых изображений имеющих перекрытия, либо «пробелы». В рамках этой процедуры оператор выбирает границы порезов, избегая пересечения высотных объектов (мосты, здания), протяженных объектов (кромка леса, воды, дорог), не допуская перекрытия и «дырок» между порезами;
- выравнивание яркостей областей мозаики. Разные области мозаики будут иметь различные параметры яркости и контрастности. Для выравнивания яркости применяют глобальное (преобразование, одинаково применяемое ко всем пикселям всех снимков) и локальное (преобразование применяемое для сглаживания участков вдоль линий шивки) выравнивание;
- сшивка областей по связующим точкам, привязка по опорным точкам. Процесс заключается в уточнении привязки связующих и опорных точек, для более точного совмещения областей вдоль линии порезов. В результате происходит трансформация исходных снимков на участках вблизи порезов;
- нарезка мозаики на листы. Размер конечного ортофотоплана слишком велик (более 4 ГБ), для его нормального отображения в среде Windows. В программе GeoMosaic предусмотрена специальная процедура для разделения ортофотоплана на отдельные части (листы). Это необходимо для того, чтобы

размеры файлов с ортофотопланом не превышали лимит 4 ГБ (установленный для ОС Windows);

- определение выходных параметров (размер пиксела, масштаб, формат) мозаики. Экспорт выходных ортофотопланов (рис. 5).

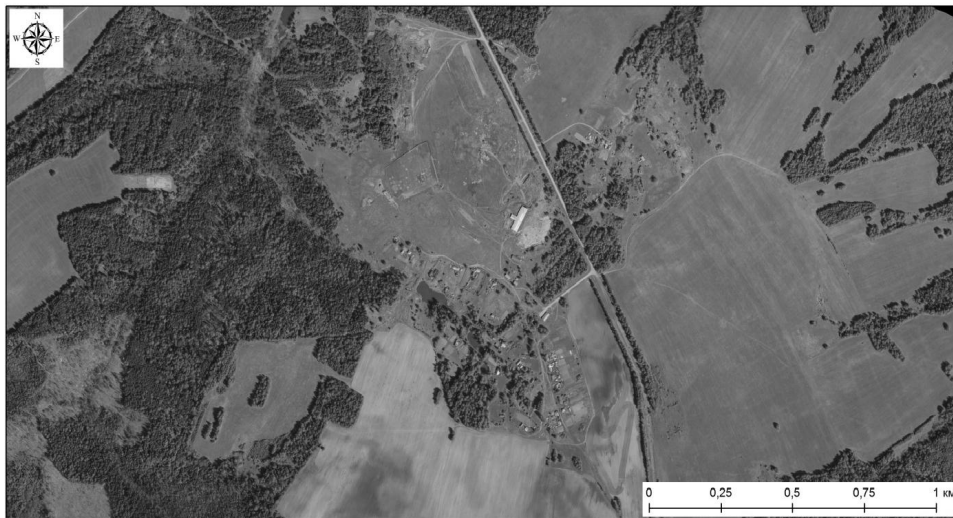


Рис. 5. Фрагмент ортофотоплана

В процессе полетов получено 3258 снимков, их общий объем – 24,2 ГБ. Процесс обработки значительного объема информации занял достаточно большое время – около 10 дней. При этом обработка велась на компьютере высокой производительности (20-ядерный процессор, объем оперативной памяти – 60 ГБ).

Полученные ортофотопланы используются в качестве основы для обновления лесоустройства обследованных участков.

Изучение лесов, выполняемое с помощью беспилотных летательных аппаратов – перспективное направление исследований. Данные, полученные в результате аэрофотосъемки, имеют ряд преимуществ над изображениями Земли из космоса. Снимки, сделанные с БПЛА, обладают существенно более высоким пространственным разрешением, точностью привязки. Аэрофотосъемка в гораздо меньшей степени зависит от облачности. При работе с беспилотным аппаратом значительно повышается оперативность и возможная периодичность съемки. В случае с БПЛА стоимость, как самого аппарата, так и продуктов его съемки ниже, чем в случае с космическим спутником.

Основные сложности связаны с дополнительной фотограмметрической обработкой данных, надежностью БПЛА, ошибками оператора в управлении аппаратом, неподходящими погодными условиями, а также пробелами в российском и международном законодательстве.

#### **Список литературы**

1. Лесная фитопатология / под ред. Б. П. Чуракова. – Санкт-Петербург : Лань, 2012. – 448 с.
2. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под ред. В. К. Кутузова. – Москва : Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, 2004. – 200 с.



3. Руководство пользователя Agisoft PhotoScan: Professional Edition, версия 1.1. – Режим доступа: [www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_1\\_ru.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_ru.pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
4. Цифровая фотограмметрическая система Photomod: версия 6.0. Руководство пользователя. – Режим доступа: [http://www2.racurs.ru/download/Racurs\\_brochures/PHOTOMOD.pdf](http://www2.racurs.ru/download/Racurs_brochures/PHOTOMOD.pdf), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
5. Arnold T. UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring / T. Arnold, M. De Biasio, A. Fritz, R. Leitner // 7th International Conference on Sensing Technology. – 2013. – P. 704–707.
6. Benavente D. Semi-expendable Unmanned Aerial Vehicle for forest fire suppression / D. Benavente // International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires, Forest Fires. – 2010. – Vol. 137. – P. 143–148.
7. Dong B. Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying / B. Dong, Z.-K. Feng, S. Yao, J. Wang, J.-C. Guo // Journal of Beijing Forestry University. – 2008. – Vol. 30. – P. 173–177.
8. Dunford R. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest / R. Dunford, K. Michel, M. Gagnage, H. Piégay, M.-L. Trémelo // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – Vol. 30 (19). – P. 4915–4935.
9. Getzin S. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles / S. Getzin, K. Wiegand, I. Schoning // Methods in Ecology and Evolution. – 2012. – Vol. 3. – P. 397–404.
10. Getzin S. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests / S. Getzin, R. S. Nuske, K. Wiegand // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6. – P. 6988–7004.
11. Lehmann J. R. K. Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry – a new perspective to monitor pest infestation levels / J. R. K. Lehmann, F. Nieberding, T. Prinz, C. Knoth // Forests. – 2015. – Vol. 6 (3). – P. 594–612.
12. Merino L. Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement using Unmanned Aerial Vehicles / L. Merino, F. Caballero, J. R. Martínez-de-Dios, I. Maza, A. Ollero // Journal of Intelligent & Robotic Systems. – 2012. – Vol. 65 (1–4). – P. 533–548.
13. Pierzchala M. Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: Application of an unmanned aircraft for 3D modeling / M. Pierzchala, B. Talbot, R. Astrup // Forests. – 2014. – Vol. 5 (6). – P. 1212–1223.
14. Salami E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas / E. Salami, C. Barrado, E. Pastor // Remote Sensing. – 2014. – Vol. 6 (11). – P. 11051–11081.
15. Schreyer J. Remote sensing-based approaches for modeling 3D vegetation information in urban areas / J. Schreyer, T. Lakes // 14th International Conference on Computational Science and Its Applications. – ICCSA, 2014. – P. 116–120.
16. Themistocleous K. Use of remote sensing and UAV for the management of degraded ecosystems: The case study of overgrazing in Randi Forest, Cyprus / K. Themistocleous, G. Papadavid, M. Christoforou, D. Tsaltas, D. G. Hadjimitsis // The International Society for Optical Engineering : Proceedings of SPIE. – 2014. – Vol. 9229.
17. Von Wahl N. An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors / N. Von Wahl, S. Heinen, H. Essen, W. Kruell, R. Tobera, I. Willms // International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires, Forest Fires. – 2010. – Vol. 137. – P. 97–106.

#### References

1. Churakov B. P. (ed.) *Lesnaya fitopatologiya* [Forest phytopathology], Saint Petersburg, Lan Publ., 2012. 448 p.
2. Kutuzov V. K. (ed.) *Metody monitoringa vrediteley i bolezney lesa* [Methods of forest diseases monitoring], Moscow, All-Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry Publ. House, 2004. 200 p.
3. *Rukovodstvo polzovatelya Agisoft PhotoScan: Professional Edition, versiya 1.1.* [User guide of Agisoft PhotoScan: Professional Edition, version 1.1.]. Available at: [www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro\\_1\\_1\\_ru.pdf](http://www.agisoft.com/pdf/photoscan-pro_1_1_ru.pdf).
4. *Cifrovaya fotogrammetricheskaya sistema Photomod: versiya 6.0. Rukovodstvo polzovatelya* [Digital photogrammetric system Photomod: version 6.0. User guide]. Available at: [http://www2.racurs.ru/download/Racurs\\_brochures/PHOTOMOD.pdf](http://www2.racurs.ru/download/Racurs_brochures/PHOTOMOD.pdf).
5. Arnold T., De Biasio M., Fritz A., Leitner R. UAV-based measurement of vegetation indices for environmental monitoring. *7th International Conference on Sensing Technology*, 2013, pp. 704–707.

6. Benavente D. Semi-expendable Unmanned Aerial Vehicle for forest fire suppression. *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires, Forest Fires*, 2010, vol. 137, pp. 143–148.
7. Dong B., Feng Z.-K., Yao S., Wang J., Guo J.-C. Aerial-ground-space precision auto-measurement technology in stereo forest surveying. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, vol. 30, pp. 173–177.
8. Dunford R., Michel K., Gagnage M., Piégay H., Trémelo M.-L. Potential and constraints of Unmanned Aerial Vehicle technology for the characterization of Mediterranean riparian forest. *International Journal of Remote Sensing*, 2009, vol. 30 (19), pp. 4915–4935.
9. Getzin S., Wiegand K., Schoning I. Assessing biodiversity in forests using very high-resolution images and unmanned aerial vehicles. *Methods in Ecology and Evolution*, 2012, vol. 3, pp. 397–404.
10. Getzin S., Nuske R. S., Wiegand K. Using Unmanned Aerial Vehicles (UAV) to Quantify Spatial Gap Patterns in Forests. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, pp. 6988–7004.
11. Lehmann J. R. K., Nieberding F., Prinz T., Knoth C. Analysis of unmanned aerial system-based CIR images in forestry – a new perspective to monitor pest infestation levels. *Forests*, 2015, vol. 6 (3), pp. 594–612.
12. Merino L., Caballero F., Martínez-de-Dios J. R., Maza I., Ollero A. Automatic Forest Fire Monitoring and Measurement using Unmanned Aerial Vehicles. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 2012, vol. 65 (1–4), pp. 533–548.
13. Pierzchala M., Talbot B., Astrup R. Estimating soil displacement from timber extraction trails in steep terrain: Application of an unmanned aircraft for 3D modeling. *Forests*, 2014, vol. 5 (6), pp. 1212–1223.
14. Salami E., Barrado C., Pastor E. UAV flight experiments applied to the remote sensing of vegetated areas. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6 (11), pp. 11051–11081.
15. Schreyer J., Lakes T. Remote sensing-based approaches for modeling 3D vegetation information in urban areas. *14th International Conference on Computational Science and Its Applications, ICCSA 2014*, pp. 116–120.
16. Themistocleous K., Papadavid G., Christoforou M., Tsaltas D., Hadjimitsis D. G. Use of remote sensing and UAV for the management of degraded ecosystems: The case study of overgrazing in Randi Forest, Cyprus. *The International Society for Optical Engineering. Proceedings of SPIE*, 2014, vol. 9229.
17. Von Wahl N., Heinen S., Essen H., Kruell W., Tobera R., Willms I. An integrated approach for early forest fire detection and verification using optical smoke, gas and microwave sensors. *International Conference on Modelling, Monitoring and Management of Forest Fires, Forest Fires*, 2010, vol. 137, pp. 97–106.

## ПОЛИВАРИАНТНОСТЬ ПОДХОДОВ К ИЗУЧЕНИЮ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

**Зимовец Пётр Александрович**, заместитель директора компании по утилизации отходов, ООО «Тора», 414000, Российская Федерация, Волгоградская область, г. Волжский, ул. Пушкина, 66, e-mail: piiiteeer@yandex.ru

**Бармин Александр Николаевич**, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: abarmin60@mail.ru

**Валов Михаил Викторович**, аспирант, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1, e-mail: m.v.valov@mail.ru

**Бармина Екатерина Александровна**, аспирант, Астраханский государственный университет, 414000, Российская Федерация, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1

Городские почвы – это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного