

УДК 523.21

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ СЪЕМКА И МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Ознамец Владимир Владимирович,

канд. техн. наук, заведующий кафедрой геодезии,

e-mail: voznam@bk.ru,

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК), г. Москва

В статье рассматривается технология применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для реализации пространственного моделирования. Задача пространственного моделирования возникает, в частности, при практических работах по мониторингу критической ситуации и связана с необходимостью систематического совершенствования методов и технологий ее решения. В статье раскрываются технические особенности съемки с использованием БПЛА. Указанные особенности создают новые уникальные возможности получения пространственной информации, но, вместе с тем, имеют и свои ограничения. Показано принципиальное отличие съемки с применением БПЛА и классической аэрофотосъемки. Отмечается, что съемка с применением БПЛА позволяет собирать информацию для построения качественно разных моделей: ареальных моделей территорий, объемных моделей пространственных объектов и моделей фрагментов объектов и территорий. В статье изложена комплексная технология съемки и пространственного моделирования. Формулируется вывод, что комплексный подход к сбору, обработке и представлению информации, полученной с применением БПЛА, требует изменения учебных программ и использования новых подходов в процессе учебной практики студентов геодезических специальностей.

Ключевые слова: пространственное моделирование, образование, воздушная съемка, пространственная информация, беспилотные летательные аппараты (БПЛА)

SPATIAL SURVEY AND MODELING USING UNMANNED AERIAL VEHICLES

Oznamets V.V.,

candidate of technical sciences, head of the department of geodesy,

e-mail: voznam@bk.ru,

Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK), Moscow

The article deals with the technology of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for the implementation of spatial modeling. The problem of spatial modeling arises, in particular, in practical work on monitoring a critical situation and is associated with the need for systematic improvement of methods and technologies for solving it. The article describes the technical features of survey using UAVs. These features create new unique opportunities for obtaining spatial information, but, at the same time, they also have their own limitations. The principal difference between UAV and classical aerial photography is shown. It is noted that shooting using UAVs allows you to collect information to build qualitatively different models: areal models of territories, three-dimensional models of spatial objects and models of fragments of objects and territories. The article describes a complex technology of shooting and spatial modeling. The conclusion is formulated that an integrated approach to the collection, processing and presentation of information obtained using UAVs requires changes in educational programs and the use of new approaches in the educational practice of students of geodesic specialties.

Keywords: spatial modeling, education, aerial survey, spatial information, unmanned aerial vehicles (UAVs)

DOI 10.21777/2500-2112-2020-1-83-91

Введение

Пространственное моделирование основано на использовании пространственной информации о территориях и объектах. Основой сбора информации для пространственного моделирования длительное время служили технологии сбора, включающие обычные полевые геодезические работы, аэрофотосъемку, космическую съемку. Методы пространственного моделирования основаны на математическом моделировании и геоинформационном моделировании. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) расширило не только технологии сбора пространственной информации, но создало новые возможности для моделирования [17], поскольку БПЛА может по заказу проводить съемку отдельных объектов или их фрагментов с разных ракурсов и высот. Использование беспилотных летательных аппаратов для анализа объектов на земной поверхности является частичным переносом технологий управляемой человеком аэрофотосъемки в область беспилотного управления. В настоящее время БПЛА широко применяют для решения задач, в сфере транспорта, при мониторинге береговой линии [9]. Накоплен опыт применения БПЛА для топографо-геодезических изысканий на транспорте [1]. Существует практика применения БПЛА для крупномасштабного картографирования [4]. Именно в этой области БПЛА имеет преимущества перед высотной аэрофотосъемкой. В настоящее время развитие науки и техники создало условия для применения БПЛА при решении ряда практических и образовательных задач. В сфере образования вместо трудоемких полевых работ студенты геодезических специальностей используют БПЛА для получения крупномасштабных снимков и последующего составления планов в учебных целях, в частности, при полевой практике. Оперативность подготовки к полету делает БПЛА незаменимым средством при оперативном мониторинге стихийных бедствий и их последствий. Однако, в сравнении с обычными носителями, эта технология эффективна только на небольших участках (несколько км²).

1. Сравнение классической аэрофотосъемки и съемки с применением БПЛА

Воздушная съемка с применением БПЛА не копирует полностью классическую аэрофотосъемку, а имеет свои отличия. Основное отличие – отсутствие традиционной тяжелой стабилизирующей аэрофотосъемочной аппаратуры. Другое отличие – съемка является не сплошной съемкой поверхности по заранее заданному прямолинейному протяженному маршруту, а управляемой с помощью теленаблюдения и фрагментарной, запускаемой оператором с земли. Классическая аэрофотосъемка производится с одной высоты (обычно от 3 до 10 км). Такие высоты обусловлены тем, что при более низких высотах на снимках появляется смаз изображения, обусловленный высокой скоростью современных самолетов. Съемка с БПЛА может проводиться с разных высот для одного участка местности с высоты от 50 до 500 м. Маршрут съемки с БПЛА может быть криволинейным, а режим прерывистым. Скорость БПЛА на порядки ниже и, главное, он может работать в режиме вертолета – зависать над местностью. Детальность и четкость снимков с БПЛА не уступают качеству аэрофотосъемки. Однако, чем выше съемка, тем больший охват территории фиксируется на снимке. В работе [5] показано, что один космический снимок может заменить до 1000 снимков аэрофотосъемки. Соответственно, один аэрофотоснимок заменяет до 100 снимков БПЛА. Но больший охват влечет к потере детальности и четкости. Кроме того, аэрофотосъемка на малые территории экономически не выгодна или не осуществима. Аэрофотосъемка требует времени на получение разрешения на полет, а если рядом (20–50 км) находятся охраняемые объекты, то получение разрешения может затянуться на 3–6 месяцев. После получения разрешения для выполнения аэрофотосъемки необходимо время для подготовки и установки съемочной аппаратуры. Проведение аэрофотосъемки требует световых и полетных условий (отсутствие ветра и отсутствие облаков на территории не менее 10 км). При этом затраты дорогостоящего авиационного горючего при проведении аэрофотосъемки очень велики.

БПЛА может взлетать на 5–20 минут в просветах между облаками и может неоднократно повторять съемку. БПЛА не требует топлива, а работает на аккумуляторах. Их можно с легкостью заменять между перерывами в съемке. Съемка с применением БПЛА имеет меньшую область охвата территории, но не ограничена по частоте и менее требовательна к метеословиям. Часто на съемочных высотах

3–9 км имеется сильный ветер, в то время как в наземном слое ветра нет. Кучевые облака располагаются на высотах от 2 км и исключают аэрофотосъемку. БПЛА никогда не поднимается до таких высот, и кучевые облака не создают для него помехи. Кроме того, при облачной погоде днем имеет место рассеянный свет, который исключает повышенную контрастность наземных объектов и повышает качество съемки с БПЛА. Для съемки протяженных объектов применяют группы БПЛА.

2. Развитие геоинформатики с применением БПЛА

Развитие БПЛА в значительной степени переосмысливает геоинформатику, а также саму концепцию воздушной мощи. Сегодня беспилотные летательные аппараты обладают практически всеми характерными качествами пилотируемых летательных аппаратов, кроме того, они преодолевают некоторые физиологические и физические ограничения пилотов и полностью избегают человеческого риска. Отсутствие пилота в кабине позволяет эксплуатировать БПЛА на пределе их эксплуатационной возможности, тем самым повышая время в полете, полезную нагрузку, потолок высоты и скорость. Последние достижения в области пилотируемых авиационных систем были интегрированы с достижениями в области компьютеров, каналов передачи данных, систем управления и оптроники, чтобы сделать БПЛА мощным средством сбора, обработки и передачи данных. Кроме того, достижения в области микроэлектроники и бесконтактных/визуальных датчиков в сочетании с наличием детального картографирования ГИС привели к разработке микро-БПЛА, которые могут автономно работать на очень малых высотах в плотной городской среде и обеспечивать невероятный интеллект.

БПЛА до сих пор не были официально признаны авиационными машинами, и для сертификации/стандартизации не было использовано никакой общей стандартной классификации БПЛА. Условно беспилотники обычно разделяют на три большие категории¹:

- ДПЛА – беспилотные дистанционно-пилотируемые аппараты;
- автоматические БПЛА;
- неуправляемые БПЛА.

В свою очередь в этих категориях разделяют микро-, мини-, средние и тяжелые БПЛА. Отношение беспилотника к тому или иному классу определяют по массе, дальности и высоте полета и времени, которое аппарат способен провести в воздухе:

- Тяжелые – имеют потолок до 20 км, могут провести в воздухе без дозаправок более 24 часов;
- Средние (иногда их называют «миди») – имеют массу до 1000 кг, способны провести в воздухе 10–12 часов и подняться на высоту до 9–10 км;
- Мини – 50 кг, несколько часов могут провести в воздухе, потолок ограничен 3–5 км;
- Микро – до 10 кг, около часа в воздухе и высота полета до 1 километра.

В данный момент беспилотные аппараты России в основном представлены БПЛА самолетного типа, однако в последнее время быстро развивается направление по созданию БПЛА вертолетного типа.

Помимо очевидных военных целей БПЛА могут использоваться в гражданской сфере для коммуникаций, картирования, мониторинга атмосферы, наблюдения за Землей, дополняя данные спутников дистанционного зондирования. Например, мини-БПЛА используются группами для съемки протяженной территории, в том числе, для мониторинга морского или океанического побережья [9]. В случае возникновения внештатных или чрезвычайных ситуаций БПЛА становятся незаменимыми, поскольку их потеря не несет угрозы для жизни людей. Они обеспечивают сбор, обработку данных в центр управления в режиме реального времени.

Типичный БПЛА, помимо его планера и двигательной установки, также требует наличия системы связи и системы управления. Система управления может быть полностью автономна, дистанционно и в режиме реального времени контролироваться или дистанционно пилотироваться/управляться в режиме реального времени [16].

¹ TecnoCom.ru [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.tecnocom.ru/stati/bespilotnye-letatelnye-apparaty-v-rossii> (дата обращения: 25.03.2020).

Управление БПЛА и полезной нагрузкой осуществляется через наземную станцию управления (Ground Control Station – GCS) по каналам передачи данных. GCS может быть контейнерной станцией, которая может быть наземной, на борту пилотируемого самолета, корабля, подводной лодки или в любом другом месте, или даже портативной станцией на базе ноутбука, которая может использоваться в любом месте в пределах диапазона управления. В обычных БПЛА системы навигации и наведения могут включать вспомогательные модули ГИС/GPS, в то время как более сложные БПЛА могут использовать дифференциальный GPS (DGPS) и модули согласования контуров местности.

В отсутствие летного состава на борту БПЛА отсутствует ситуационная осведомленность. Таким образом, полет БПЛА должен постоянно контролироваться внешними средствами, такими как радары или дополнительные датчики, которые размещаются на воздушном средстве и проектируют интерфейсы для включения их в нисходящую линию связи. Управление каналами передачи данных и нисходящие линии связи делают БПЛА уязвимыми к помехам и ограничению пропускной способности. Будучи беспилотными, БПЛА нуждаются в резервировании практически во всех системах, влияющих на безопасность полета, например, в командных звеньях, бортовых компьютерах, навигационных датчиках и системах, сервоприводах или системах посадки.

С учетом того, что сети на основе TCP/IP используются в беспилотных летательных аппаратах, существующие наземные станции (GCS) уходят в прошлое или остаются автономной станцией [16]. Вместо GCS создается центральный центр управления, имеющий несколько контрольных станций, и данные, собранные со всех БПЛА, мгновенно интегрируются в одну систему. Это позволяет оператору (или системам) принимать решения на основе всесторонних данных. Управление БПЛА может быть передано на любую станцию управления в сети, независимо от физического местоположения БПЛА. Кроме того, технически становится возможным управлять некоторыми функциями БПЛА в полете с помощью мобильного устройства. Это дает возможность управлять БПЛА или его полезной нагрузкой из любой точки мира.

3. Технологическая реализация съемки

Беспилотные летательные аппараты применяются для решения геодезических задач и геомониторинга и последующего пространственного моделирования, входящего в геодезическое или геоинформационное обеспечение. В настоящее время существуют три основных направления применения БПЛА: сбор геоданных, экстренная поддержка в чрезвычайных ситуациях, регулярный геомониторинг [18] или геотехнический [6] мониторинг. Съемка включает две дополняющие группы задач: задачи управления и задачи получения информации. Задачи управления основаны на теории управления подвижными объектами [14] и теории многоцелевого управления [11; 15] для групп БПЛА. Основные этапы съемки и пространственного моделирования с использованием БПЛА представлены на рисунке 1.

Технология съемки использует три канала: фотограмметрический, телевизионный и сенсорный [12]. Эти каналы интегрированы в общую технологию съемки, где они являются комплементарными [8]. На основе съемки получают данные, которые преобразуются в модели.

На первом этапе осуществляют комплексную съемку и на ее основе получают данные о трех качественно разных пространственных объектах. На втором этапе строят модели пространственных объектов на основе полученных точечных измерений. Модели формируют из множества связанных точек. При этом используют семантическое моделирование или конструирование [3]. Затем разрозненные модели сводят в единую интегрированную пространственную модель. При учете особенностей некоторых пространственных объектов удалось разработать специальный алгоритм [10] построения пространственной модели.

Применение БПЛА создало новые возможности для пространственного моделирования, поскольку БПЛА может не только собирать информацию массовым способом, но и по специальному техническому заданию собирать информацию о конкретной модели: объекта или отдельного фрагмента. При этом важно, что такой сбор может контролироваться с земли и оператор может выбирать ракурс съемки и взаимное расположение датчика и объекта.



Рисунок 1 – Основные этапы съемки и пространственного моделирования с использованием БПЛА

4. Методы и приемы пространственного моделирования по информации, собираемой при помощи БПЛА

Пространственное моделирование включает несколько разновидностей: дискретное, аналоговое, цифровое, геоинформационное, образное, структурное, топологическое, виртуальное моделирования. Одно из назначений пространственного моделирования с помощью БПЛА (ПМ БПЛА) – это исследование сложных объектов и процессов и упрощение их для простого анализа и прогнозирования. ПМ БПЛА должны упрощать представление ситуации или объекта, несмотря на сложность исходной информации. В этом аспекте пространственное моделирование является одним из методов редукции «больших данных». При исследовании устойчивого развития территорий ПМ БПЛА привязывают к конкретной местности. В этом случае речь идет о локальном моделировании [13]. Примером такого моделирования является геостатистическое моделирование, которое широко применяют в геологии, экологии и даже кадастре. ПМ БПЛА не только отображает явления и процессы реального мира, но и является объективным практическим критерием проверки истинности знаний о конкретной пространственной ситуации. Пространственное моделирование создает в итоге информационные пространственные модели и информационные ресурсы. В научном плане ПМ БПЛА помогает формировать картину мира, исследуя закономерности пространственных явлений и процессов. Моделирование позволяет описать процессы взаимодействия реального объекта и внешней среды и выявить критерии оптимизации этого взаимодействия. Особенностью пространственного моделирования является использование пространственных отношений. Пространственные отношения присутствуют в модели в явной или неявной форме.

При исследовании динамики явлений и процессов предпочтительным является математическое моделирование. Математическая модель представляет собой совокупность формальных описаний, отражающих реальную динамику ситуации. При исследовании структуры явлений и процессов предпочтительным является топологическое моделирование. Особенностью пространственного моделирования является использование пространственной реальной топологии. При исследовании пространствен-

ных отношений явлений и процессов предпочтительным является теоретико-множественное моделирование. При исследовании моделей конструкций причинно-следственной связи применяют логическое моделирование.

При исследовании трехмерных объектов широко применяют цифровое моделирование. В широком смысле слова цифровая модель (ЦМ) – это информационная дискретная модель, сформированная для обработки информации об объекте на компьютере. В узком смысле термин «цифровая пространственная модель» – это дискретная модель пространственных объектов, которой заменяют непрерывные аналоги объектов.

По аспекту пространственных отношений в ЦМ выделяют метрическую и атрибутивную типы информации. Метрическая информация определяет координацию, конфигурацию, размеры. Координационная часть ЦМ зависит от выбора системы координат и точек отсчета. Конфигурационная часть ЦМ не зависит от выбора координатной системы. Атрибутивная информация в ЦМ определяет принадлежность объекта к определенному классу объектов. Семиотический аспект позволяет, рассматривая ЦМ как информационную модель, вводить известные в информатике оценки: коэффициент информативности и коэффициент содержательности цифровой модели. Семантическая часть ЦМ определяет ее содержание. Синтаксическая часть ЦМ определяет набор правил и ограничений манипулирования данными. Она связана с классификацией и правилами построения моделей.

Пространственное моделирование широко используется при исследовании распределенных объектов, при оценке территориального распределения ресурсов. Пространственная модель служит важным инструментом управления [7]. В современном управлении территориальными комплексами и транспортом большое значение имеет пространственная информация. Координаты местоположения на земной поверхности – это неотъемлемый атрибут объекта недвижимости, который определяет, среди многих характеристик, его рыночную стоимость. При оценке эффективности инновационных проектов пространственный фактор влияет на диффузию инноваций и требует выявления и анализа. При перемещении материальных потоков пространственный фактор также влияет на стоимость перевозки. Не случайно за рубежом появилось новое направление в экономике – пространственная экономика, которое отличается от региональной экономики и имеет свои методы и задачи, основанные на геоинформатике и геоинформационных моделях.

Применительно к проектированию, строительству, мониторингу и экономической деятельности пространственное моделирование выполняет следующие функции.

Измерительная функция. Она используется для пространственных измерений, последующих различных расчетов и для получения метрических, проектных и экономических оценок.

Интегрирующая функция заключается в том, что пространственная модель объединяет и интегрирует разные виды информации в единую систему.

Аналитическая функция пространственного моделирования состоит в дополнительной возможности анализа разных видов информации за счет интеграции их на основе пространственной информации.

Прогностическая функция пространственного моделирования состоит в дополнительной возможности прогнозирования явления за счет использования геоданных, которые включают временную компоненту и позволяют проводить ретроспективный и перспективный (прогностический анализ).

Геотехническая функция. Важная функция пространственного моделирования, которая связана с возможностью мониторинга и анализа геотехнических систем для оценки их состояния и жизненного цикла.

Пространственное моделирование позволяет создавать информационное поле, связанное с пространством, на основе которого можно делать глобальные полевые оценки, применяемые в научных исследованиях, в принятии решений и управлении. Пространственное моделирование характеризует не только локальные факторы состояния, но и распределенные факторы, например, распределение природных и других видов ресурсов. Пространственное моделирование дает возможность оценить потенциал этих ресурсов и прогнозировать использование ресурсов в будущем. ПМ БПЛА вносит важный вклад в решение этих задач и осуществление функций пространственного моделирования.

Заключение

Пространственное моделирование и его основной вид – геоинформационное моделирование позволяют решать широкий круг задач, которые с помощью других методов моделирования решить нельзя. Пространственное моделирование является ключевым в цепочке получения пространственных знаний. Пространственное моделирование является обязательным компонентом при территориальном управлении, планировании и прогнозировании. Для получения данных пространственного моделирования эффективной технологией является съемка с применением БПЛА. Съемка с применением БПЛА создает больше возможностей для моделирования, чем съемка с авианосителей. Применяют разные типы БПЛА в зависимости от высоты и целей съемки. При съемке с помощью БПЛА главную роль играет фактор экономической целесообразности. Технология съемки с помощью БПЛА является комплексной технологией, включающей разные каналы сбора информации и разные режимы, включая интерактивные и режимы онлайн.

Съемка с применением БПЛА и последующее моделирование имеет более широкий разброс вариантов. Ее недостаток – ограничение полетного времени. Ее достоинство – съемка объектов с разных высот и с разных ракурсов. Эта технология применима для решения многих задач. Она применяется при контроле сооружений, оценке риска и последствия природных и техногенных катастроф [2] и др. Съемка с применением БПЛА имеет сходство и различие со многими видами съемки с воздушных и космических носителей. Ее принципиальным отличием является возможность построения пространственной модели или сбора информации для конкретной пространственной модели, а также исследования высотного объекта на расстоянии до одного метра и построение пространственной модели фрагмента, что невозможно при применении других технологий. По сути, ПМ БПЛА создает модель при съемке, в то время как другие виды съемок осуществляют сбор информации, которая затем подвергается первичной и вторичной обработке, после чего становится пригодной для моделирования и анализа. Большое значение ПМ БПЛА имеет для образовательных целей. Обучающиеся с помощью БПЛА, в основном по телевизионному каналу, могут изучать особенности пространственных объектов и давать свои рекомендации по выбору режима съемки и последующей обработки. Съемка с БПЛА легко моделируется в виртуальном пространстве и может изучаться обучающимися и специалистами при помощи тренажеров. Съемка с применением БПЛА использует глобальные навигационные спутниковые системы. Это требует от обучающихся освоения и этой области исследований и способствует широте их образования. В целом ПМ БПЛА можно рассматривать как новый информационный ресурс в практических исследованиях и в образовании.

Список литературы

1. Карпович М., Герштейн Л.М., Паневин Н.В., Карпович А.М. Применение БПЛА при проведении топографо-геодезических изысканий // Транспортная стратегия – XXI век. – 2013. – № 22. – С. 66–68.
2. Лёвин Б.А., Бугаев А.С., Иваишов С.И., Разевиг В.В. Дистанционно-пилотируемые летательные аппараты и безопасность пути // Мир транспорта. – 2013. – Т. 11, № 2 (46). – С. 152–157.
3. Мордвинов В.А., Братусь Н.В., Кутузов М.В. Семантическое конструирование информационно-методического обеспечения образовательных технологий в инструментальной среде QR-кодирования // Славянский форум. – 2018. – № 4 (22). – С. 31–38.
4. Нгуен В.Н., Чан Ч.Т., Нгуен Т.Ч., Ву В.Т. Применение БПЛА с целью построения 3D-крупномасштабных карт // Славянский форум. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
5. Савиных В.П., Цветков В.Я. Геоинформационный анализ данных дистанционного зондирования. – М.: Картоцентр-Геодиздат, 2001. – 224 с.
6. Цветков В.Я. Геоинформационный геотехнический мониторинг // Науки о Земле. – 2012. – № 4. – С. 54–58.
7. Цветков В.Я. Комплементарность информационных ресурсов // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 2. – С. 182–185.
8. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. – № 4 (12). – С. 5–10.

9. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Дегбенъон О., Пьеретт А. Исследование абразии береговой линии Республики Бенин // Науки о Земле. – 2018. – № 2. – С. 67–81.
10. Цветков В.Я., Ознамец В.В., Филатов В.Н. Определение условной береговой линии по снимкам беспилотного летательного аппарата // Информация и космос. – 2019. – № 1. – С. 126–131.
11. Blackburn M.R., Bailey R., Lytle B. Improved mobility in a multi-degree-of-freedom unmanned ground vehicle // Unmanned Ground Vehicle Technology VI. – International Society for Optics and Photonics, 2004. – Vol. 5422. – P. 124–134.
12. Owens K., Matthies L. Passive night vision sensor comparison for unmanned ground vehicle stereo vision navigation // Proceedings IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications (CVBVS'99). – IEEE, 1999. – P. 59–68.
13. Shi H. Local spatial modeling of white-tailed deer distribution // Ecological Modelling. – 2006. – Vol. 190, No. 1. – P. 171–189.
14. Tsvetkov V.Ya. Information Management of Mobile Object // European Journal of Economic Studies. – 2012. – No. 1 (1). – P. 40–44.
15. Tsvetkov V.Ya. Multipurpose Management // European Journal of Economic Studies. – 2012. – No. 2 (2). – P. 140–143.
16. UAVs-Redefining Geoint [Электронный ресурс] // Geospatial world. – 2011. – URL: <https://www.geospatialworld.net/article/uavs-redefining-geoint> (дата обращения: 12.03.2020).
17. Valasek J. et al. Intelligent motion video guidance for unmanned air system ground target surveillance // Journal of Aerospace Information Systems. – 2016. – Vol. 13, No. 1. – P. 10–26.
18. Witayangkurn A., Nagai M., Honda K., Daile M., Shibasaki R. Real-time monitoring system using unmanned aerial vehicle integrated with sensor observation service // International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (14–16 September 2011). – Zurich, 2011. – Vol. XXXVIII-1/C22. – P. 107–112.

References

1. Karpovich M., Gershtejn L.M., Panevin N.V., Karpovich A.M. Primenenie BPLA pri provedenii topografo-geodezicheskikh izyskanij // Transportnaya strategiya – XXI vek. – 2013. – № 22. – С. 66–68.
2. Lyovin B.A., Bugaev A.S., Ivashov S.I., Razevig V.V. Distancionno-pilotiruemye letatel'nye apparaty i bezopasnost' puti // Mir transporta. – 2013. – Т. 11, № 2 (46). – С. 152–157.
3. Mordvinov V.A., Bratus' N.V., Kutuzov M.V. Semanticheskoe konstruirovaniye informacionno-metodicheskogo obespecheniya obrazovatel'nykh tekhnologiy v instrumental'noj srede QR-kodirovaniya // Slavyanskij forum. – 2018. – № 4 (22). – С. 31–38.
4. Nguen V.N., Chan Ch.T., Nguen T.Ch., Vu V.T. Primenenie BPLA s cel'yu postroeniya 3D-krupnomasshtabnykh kart // Slavyanskij forum. – 2015. – № 4 (10). – С. 224–231.
5. Savinyh V.P., Cvetkov V.Ya. Geoinformacionnyj analiz dannyh distancionnogo zondirovaniya. – М.: Kartocentr-Geodezizdat, 2001. – 224 s.
6. Cvetkov V.Ya. Geoinformacionnyj geotekhnicheskij monitoring // Nauki o Zemle. – 2012. – № 4. – С. 54–58.
7. Cvetkov V.Ya. Komplementarnost' informacionnykh resursov // Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovaniy. – 2016. – № 2. – С. 182–185.
8. Cvetkov V.Ya. Razvitie tekhnologiy upravleniya // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2015. – № 4 (12). – С. 5–10.
9. Cvetkov V.Ya., Oznamec V.V., Degben'on O., P'erett A. Issledovanie abrazii beregovoj linii Respubliki Benin // Nauki o Zemle. – 2018. – № 2. – С. 67–81.
10. Cvetkov V.Ya., Oznamec V.V., Filatov V.N. Opredelenie uslovnoj beregovoj linii po snimkam bespilotnogo letatel'nogo apparata // Informaciya i kosmos. – 2019. – № 1. – С. 126–131.
11. Blackburn M.R., Bailey R., Lytle B. Improved mobility in a multi-degree-of-freedom unmanned ground vehicle // Unmanned Ground Vehicle Technology VI. – International Society for Optics and Photonics, 2004. – Vol. 5422. – P. 124–134.
12. Owens K., Matthies L. Passive night vision sensor comparison for unmanned ground vehicle stereo vision navigation // Proceedings IEEE Workshop on Computer Vision Beyond the Visible Spectrum: Methods and Applications (CVBVS'99). – IEEE, 1999. – P. 59–68.

13. *Shi H.* Local spatial modeling of white-tailed deer distribution // *Ecological Modelling*. – 2006. – Vol. 190, No. 1. – P. 171–189.
14. *Tsvetkov V.Ya.* Information Management of Mobile Object // *European Journal of Economic Studies*. – 2012. – No. 1 (1). – P. 40–44.
15. *Tsvetkov V.Ya.* Multipurpose Management // *European Journal of Economic Studies*. – 2012. – No. 2 (2). – P. 140–143.
16. UAVs-Redefining Geoint [Elektronnyj resurs] // *Geospatial world*. – 2011. – URL: <https://www.geospatialworld.net/article/uavs-redefining-geoint> (data obrashcheniya: 12.03.2020).
17. *Valasek J.* et al. Intelligent motion video guidance for unmanned air system ground target surveillance // *Journal of Aerospace Information Systems*. – 2016. – Vol. 13, No. 1. – P. 10–26.
18. *Witayangkurn A., Nagai M., Honda K., Daile M., Shibasaki R.* Real-time monitoring system using unmanned aerial vehicle integrated with sensor observation service // *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* (14–16 September 2011). – Zurich, 2011. – Vol. XXXVIII-1/C22. – P. 107–112.