

---

---

**КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ,  
СИСТЕМЫ И ПРОГРАММЫ ИЗК**

---

---

**ПРИМЕНЕНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ  
ПРИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ И ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ РАБОТАХ**

© 2021 г. Ю. Н. Иванова<sup>a, b, \*</sup>, К. С. Иванов<sup>c</sup>, М. К. Бондарева<sup>d</sup>,  
И. Г. Иванов<sup>d</sup>, А. О. Жуков<sup>e, f</sup>

<sup>a</sup>Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук,  
Москва, Россия

<sup>b</sup>Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>c</sup>Космические войска, Москва, Россия

<sup>d</sup>Главный испытательный космический центр им. Г.С. Титова, Краснознаменск,  
Московская область, Россия

<sup>e</sup>Институт астрономии РАН, Москва, Россия

<sup>f</sup>Особое конструкторское бюро Московского энергетического института,  
Москва, Россия

\*E-mail: jnivanova@yandex.ru

Поступила в редакцию 06.07.2020 г.

Статья посвящена обзору и анализу отечественной и зарубежной литературы по вопросам применения беспилотных летательных аппаратов для поиска и прогнозирования рудных месторождений на территории России и других стран. Показано, что в нашей стране беспилотные авиационные системы широко используются в основном с целью экологического мониторинга; создания и обновления цифровой картографической информации; привязки изображений к географическим координатам и др. Тогда как для поиска и прогнозирования рудной минерализации эти технологии используются значительно реже. При этом эффективность их применения относительно других стран пока невысока. Активнее всего беспилотные летательные аппараты внедряются и применяются в нефтегазовой отрасли. Между тем решения с их использованием способны принести существенную пользу в основных геологоразведочных и поисково-оценочных процессах, а также на начальных производственных этапах, уменьшив финансовые затраты. Рассмотрены предприятия, занимающие лидирующие позиции в области развития коммерческих технологий предоставления услуг по получению геопространственных данных, разработки и применения беспилотных авиационных систем. Проведен анализ нормативно-правовой базы использования беспилотных летательных аппаратов на территории Российской Федерации, а также таких государств как Китай и США, которые являются лидерами в этой сфере. Показано, что в некоторых странах при стремительном развитии беспилотных технологий нормативно-правовое обеспечение не всегда регламентирует их применение, находясь на различных этапах законотворческого процесса.

*Ключевые слова:* аэроснимки, беспилотные летательные аппараты, дистанционное зондирование Земли, рудные месторождения, поиск, прогнозирование

**DOI:** 10.31857/S0205961421010061

## ВВЕДЕНИЕ

Возможности применения материалов космической съемки в практике геолого-съёмочных и поисковых работ с годами расширяются. Они содержат принципиально новую информацию о геологическом строении территорий, которую нельзя получить традиционными методами; обеспечивают повышенную обзорность исследуемых площадей; позволяют увидеть тектоническое строение территорий в виде упорядоченной системы морфоструктур различного типа и ранга, что важно для дальнейшего геодинамического

анализа; уточняют имеющиеся геологические карты и дополняют их морфоструктурной информацией (Морфоструктурные исследования..., 1985; Егоров, 2010). Анализ многоспектральных космоизображений активно используется в синтезе с другими методами (например, геологическими и геофизическими) с целью поиска и прогнозирования рудной минерализации. Данные многоспектральных космоизображений порой являются единственными источником информации в местах со сложными климатическими и географическими условиями (постоянный ледниковый покров, пустынные территории, боло-

тистая местность и др.) и отсутствием инфраструктуры, и прежде всего, для слабоизученных и богатых на природные ресурсы районов Крайнего Севера, где существует большая вероятность обнаружения различных видов полезных ископаемых (ПИ) (Бортников и др., 2014; Волков и др., 2019).

В настоящее время для получения спектральных снимков высокого разрешения применяют еще один инструмент дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и важнейший источник данных — беспилотные летательные аппараты (БПЛА).

В нашей стране работы по созданию БПЛА и разработке технологий их применения в интересах геологии являются актуальными и перспективными. Они призваны преодолеть существенное отставание в данной области от ведущих стран мира.

Говоря о БПЛА, с учетом специфики рассматриваемого вопроса здесь и далее будем отождествлять его с термином, вводимым Федеральным законом от 03.07.2016 № 291-ФЗ “О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации” — “Беспилотная авиационная система” (БАС), представляющая собой комплекс взаимосвязанных элементов и включающая в себя одно или несколько беспилотных воздушных судов, средства обеспечения взлета и посадки, средства управления полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов и контроля за полетом одного или нескольких беспилотных воздушных судов. БАС состоит из бортового комплекса управления, полезной нагрузки и наземной станции управления.

На сегодняшний день рынок БПЛА стремительно развивается. Их внедрение превращает горнодобывающую промышленность в настоящий фронт технологического развития, помогает находить более простые и безопасные способы поиска, разведки и картирования месторождений ПИ, а спектр потенциальных сфер применения БПЛА в геологических целях практически бесконечен.

Использование БПЛА в практике геологоразведочных работ имеет следующие преимущества: они способны проводить в воздухе больше времени, чем, например, вертолеты при проведении магниторазведки и покрывать большую площадь; летать на очень малых и сверхмалых высотах и получать снимки высокого разрешения. Простота их использования и понятный интерфейс позволяют планировать и контролировать полеты в режиме реального времени; легко менять или повторять маршруты в полевых условиях и анализировать полетные данные. Стоимость сбора информации с помощью БПЛА и их использование обойдутся намного дешевле, чем пилотируемых

аппаратов (например, при исследовании новых участков) (Полякова, Гофаров, 2012; Milas et al., 2018).

Сегодня составление карт участков месторождения или рудопроявления в высоком разрешении с помощью БПЛА занимает меньше одного рабочего дня, обеспечивая гибкость при выборе подходящей информации, циклов сбора и типа данных (Liao et al., 2018).

Значимость БПЛА как одного из важнейших источников данных ДЗЗ наряду с космоснимками подтверждает еще и то, что такой авторитетный международный журнал как “International Journal of Remote Sensing” (кварталь журнал — Q1) опубликовал крупный специальный выпуск в 2017 г. (“Special Issue: Unmanned aerial vehicles for environmental applications” International Journal of Remote Sensing, 38, nos. 8–10, 2017, pp. 2029–3202), содержащий 64 статьи по различным аспектам дистанционного зондирования окружающей среды с использованием БПЛА. За ним последовал второй специальный выпуск по этому вопросу (“Special Issue: Unmanned Aerial Systems (UAS) for Environmental Applications”, International Journal of Remote Sensing, 39, nos. X–Y, 2018, pp. 4845–5595), включавший 36 статей.

Кроме того, в настоящее время проводится множество конференций, посвященных применению БПЛА, что еще раз подчеркивает их значимость (например, конференция “БПЛА: отраслевая специфика. Практика применения и угрозы”; “Проблемы и перспективы применения беспилотных летательных аппаратов в промышленном комплексе”; “Перспективы развития и применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами”; “Применение беспилотных летательных аппаратов в географических исследованиях”; International Communications Satellite Systems Conferences (ICSSC); IAA/AAS Conference on Space Flight Mechanics; ISPRS International Conference on Computer Vision in Remote Sensing и др.).

Задача этих мероприятий — обсуждение современного состояния, разработок использования БПЛА, проблем и перспективных направлений их применения в промышленном комплексе, их демонстрация компаниями-производителями, разработка рекомендаций для эффективного применения беспилотных авиационных технологий в промышленности; обмен опытом между предприятиями, организациями, компаниями, институтами и другими учреждениями и др.

Цель статьи — дать обзор и проанализировать современное состояние применения и использования БПЛА для прогнозирования и поиска рудной минерализации. Рассмотреть нормативно-правовое регулирование БПЛА на территории Российской Федерации и в других государствах, которые являются лидерами в этой области.

## ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ БПЛА С ЦЕЛЮ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКА РУДНОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В РОССИИ И ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАНАХ

Анализ литературы показал, что данные, получаемые с использованием БПЛА, широко применяются в основном с целью различного вида экологического мониторинга (Храмов и др., 2018; Agroyo et al., 2019; Остроухов, Климина, 2020); построения цифровых моделей местности (Полякова, Гофаров, 2012); построения 3D моделей (Tong et al., 2015; Froideval et al., 2019); при проведении геофизических работ (Parshin et al., 2018); геологического (Vollgger et al., 2015; Gervais et al., 2018) и топографического картирования (Klara et al., 2019) и др. При этом для поиска и прогнозирования рудной минерализации эти технологии используются значительно реже. Материалы БПЛА в нашей стране применяют научные организации, университеты и предприятия в основном в Сибирском федеральном округе (Иркутск, Новосибирск, Красноярск).

Например, в Новосибирском государственном университете совместно с Институтом нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука Сибирского отделения (ИНГГ СО) РАН (Фирсов и др., 2018) по заказу ПАО “Бурятзолото” (подразделение ПАО “Норд Голд”) был использован БПЛА для проведения магнитной съемки на флангах Гранитного золоторудного месторождения (Восточный Саян) в условиях высокогорного (2200–3000 м над уровнем моря), сильно расчлененного рельефа с целью поиска структур, контролирующих золоторудные кварцевые жилы, а также оконтуривания зон расщеливания и березитизации с выделением в них кварцевых и кварц-сульфидных тел. Это позволило исследователям исключить проведение наземных работ, как самых дорогостоящих.

В Сибирском федеральном университете (Институт горного дела, геологии и геотехнологий) разрабатывают новые технологии прогнозирования и поиска месторождений ПИ (Пантелейкин, 2009) с применением интерактивной базы (взаимоувязанные геологические, геохимические, минералогические и геофизические данные разных масштабов) картографической информации и создаваемые на ее основе динамично пополняемые прогнозно-металлогенетические карты. В институте была разработана технология “Геоэкспресс”. Она представляет собой комплекс ускоренных поисково-разведочных работ на золото и другие металлические ПИ, включающий: экспрессные геохимические поиски с синхронным аналитическим сопровождением; детализационные геохимические и геофизические работы на выявленных аномалиях; горные и буровые работы для заделки аномалий, оконтуривания рудных тел,

разведки выявленных объектов; 3D-моделирование полученного объекта; подсчет и защита запасов по российским и зарубежным стандартам.

Аэрофотосъемки и геофизические исследования выполняются на базе БПЛА для картирования территорий, которые позволяют выполнять аэрогеофизические работы с полевой базы без привлечения громоздкой авиационной инфраструктуры, что существенно снижает их стоимость.

Ученые из Института геохимии им. В.И. Виноградова СО РАН совместно с российской компанией 4SibGIS Tech LLC и Иркутским национальным исследовательским техническим университетом выполняют низковысотные ДЗЗ с помощью БПЛА для более эффективных геологических поисков на примере участка в Бодайбинском районе (Восточная Сибирь), перспективного на золотое оруденение черносланцевого типа, с целью доразведки слабоизученных участков вблизи известного месторождения. Исследователи рассматривают методику выполнения и интерпретации комплексной БПЛА-геофизической съемки, которая включает одновременно выполняемую магниторазведку и гамма-радиометрию, а также мультиспектральную фотосъемку. Применение комплексных маловысотных съемок с БПЛА позволило оперативно и с низкими затратами выделить по комплексу косвенных признаков потенциально золотоносные структуры. Результаты поискового бурения подтвердили правильность и эффективность изложенного подхода (Parshin et al., 2018).

Анализ информационных ресурсов отечественных компаний-разработчиков БПЛА (ГК “Геоскан”, “Сервис Гео” и др.) позволяет сделать вывод, что предприятия обладают технологиями БПЛА для аэрофотосъемки и геологоразведки (авионика, сенсоры, системы связи и управления); разрабатывают и производят планеры и коптеры; имеют программное обеспечение для обработки и визуализации данных.

В других странах, как и в случае с Россией, наблюдается географическая тенденция преобладания научных исследований с целью поиска и прогнозирования рудных месторождений с использованием БПЛА в основном на Циркумарктической территории (Канада и Швеция), где до сих пор слабо изучены труднодоступные перспективные площади с огромным потенциалом обнаружения новых рудных месторождений (Бортников и др., 2014; Волков и др., 2019). Анализ опыта зарубежных стран показал, что полученные данные с БПЛА и космоснимков применяются совместно с другими методами, которые порой являются единственными источниками информации о геологическом строении территории. В будущем БПЛА смогут стать незаменимы-

ми и наиболее эффективными средствами и методами в местах с подобными сложными климатическими, географическими условиями и отсутствием инфраструктуры; принесут пользу во всех основных производственных процессах и тем самым помогут уменьшить финансовые затраты.

Так, например, ученые из Швеции (Malehmir et al., 2017) провели успешные экспериментальные исследования с применением БПЛА для поиска железорудной минерализации в центральной Швеции с использованием магнитометра Overhauser. Они в течение трех часов провели 10 пролетов и собрали данные общей протяженностью ~20 км, охватывающие площадь около 2 км<sup>2</sup>. Линии полета были спроектированы перпендикулярно к простиранию оруденения. Ими были выделены две четко выраженные минерализованные зоны богатые магнетитом и гематитом, находящиеся всего примерно в 100 м друг от друга.

Полученные результаты демонстрируют потенциал исследований и открывают возможности для разработки модульных систем БПЛА для поиска ПИ в геологически сложных рудных районах.

Исследователи из Королевского университета в Канаде (Walter et al., 2020) применили аппараты dà-Jiāng Innovations (S900), A GEM Systems, Inc. и магнитометр на основе паров калия GSMP-35U с целью аэромагнитной съемки в пределах пояса Шибандован Гринстоун (Онтарио, Канада). Размер площади составлял ~500 на 700 м, съемка осуществлялась на высотах 35, 45 и 70 м над уровнем земли. В общей сложности было проведено более 48 линейных километров съемки. Собранные аэромагнитные данные были сопоставлены с региональной аэромагнитной съемкой, сделанной на вертолете на высоте примерно 85 м над уровнем земли. Это исследование демонстрирует, что аэромагнитные и магнитные съемки с помощью БПЛА с низкой высотой полета позволяют получать данные с лучшим разрешением по сравнению с пилотируемыми воздушными аппаратами для магнитной съемки. Кроме того, ученые сопоставили полученные данные с геологической картой, цифровой моделью рельефа и космоснимкам. В результате чего были выявлены линеаменты (смежные зоны сдвига), отвечающие за структурный контроль золотого оруденения на изучаемой территории. Эти данные совместно с ранее полученными материалами были применены для обнаружения нового золотого оруденения на участке, оцененном в 15.7 г/т Au.

Ученые из Карлтонского университета (Канада, Оттава) (Cunningham et al., 2018) также применяют БПЛА для аэромагнитной съемки и картирования разрывных нарушений на территории Zn–Pb–Ag месторождения Нэш-Крик (Канада). Это весьма перспективный объект, который еще очень плохо изучен и имеет большие перспекти-

вы для открытия новых зон минерализации как на этой площади, так и за ее пределами. Исследования проводились с помощью аппарата SkyLance (аэромагнитная платформа для съемки, разработанная Stratus Aeronautics), оснащенного магнитометром на основе паров цезия. Полученные магнитные данные хорошо согласуются со структурами на геологических картах. Например, дайки и разломы, которые погружаются на восток под углом 25° и имеют мощность около 1.5 м, соответствуют аномалиям, зафиксированным с помощью БПЛА. Таким образом, применяемое учеными оборудование повышает обнаружение более мелких, более глубоких и более слабых магнитных целей. Например, БПЛА, летящий на высоте 100 м над поверхностью земли, может обнаруживать сферическое рудное тело с радиусом ~16 м и магнитной восприимчивостью 10<sup>-4</sup>, погребенное на глубине 40 м. Полученные результаты с помощью БПЛА в сочетании с традиционными методами поиска и отбором проб могут быть применены для поиска рудных месторождений и более подробного крупномасштабного картирования для дальнейших более детальных прогнозно-разведочных работ.

Помимо университетов, также беспилотные технологии применяют различные компании с целью поиска и прогнозирования рудных месторождений.

Например, компания Microdrones (офисы находятся в США, Канаде, Германии, Франции; ОАЭ, Китае, Австралии) ([www.microdrones.com](http://www.microdrones.com)) предлагает услуги использования БПЛА для геологического картирования участков месторождений, поиска ПИ, мониторинга ледников, метеорологических исследований, геофизической съемки и др. Кроме того, сотрудники этой компании ведут исследования с учеными и по всему миру, использующие БПЛА для решения разнообразных задач. Они оснащают БПЛА различными датчиками и оборудованием, адаптируя их для удовлетворения конкретных целей и задач исследования. Microdrones также проводит обучение пилотированием БПЛА: ими разработана программа Mohawk Valley Community College для получения лицензии на управление Microdrones md4-1000.

Компания UgCS, расположенная в Риге (Латвия), предлагает услуги по интеграции беспилотных систем, включая помощь в подборе БПЛА, автопилотов, полезных нагрузок для конкретных целей, а также для построения или приобретения необходимых деталей и осуществления валидации концептуальных проектов ([www.ugcs.com](http://www.ugcs.com)). В частности, они применяют БПЛА, оснащенные магнитометрическими датчиками для проведения дистанционных геофизических исследований с целью поиска ПИ. Оснащенные магнито-

метром аппараты обеспечивают повышенную безопасность операций, снижают затраты, упрощают техническое обслуживание и логистику.

Активнее всего использование беспилотных авиационных систем находит свое применение в нефтегазовой отрасли, которая одна из первых осознала преимущества технологий БПЛА, меняющих коренным образом бизнес-модели нефтяных компаний и формирующих новые условия деятельности в различных областях их присутствия. Они широко используются в различных областях геологоразведочных работ начиная от предварительного анализа перспективных участков, заканчивая геодезическими съемками для проектирования и подготовки сейсморазведки. Например, БПЛА применяются при поиске и оценке залежей углеводородов, в частности для сбора топографических данных об интересующем участке с дальнейшим составлением ортофотопланов, построении 3D-моделей местности при ее геологической разведке и др. Внедрение подобных технологий уже произошло у ПАО «Газпром нефть» и ПАО НК «Роснефть».

Например, ПАО «Газпром нефть» (<https://www.gazprom-neft.ru/press-center/news/gazprom-neft-pervoy-v-rossii-primenila-bespilotniki-dlya-poiska-uglevodorodov/>. Дата обращения 06.05.2020) в составе специалистов из Дирекции по цифровой трансформации и научно-технического центра компании, ООО «Газпромнефть-Ямал» и Информационно-технологической сервисной компании (ИТСК), которая первая в России успешно применила БПЛА для проведения многоуровневой магнитометрической съемки. Технология была успешно испытана на Новопортовском месторождении. Отечественные БПЛА, специально модифицированные для этого проекта, исследовали территорию в 100 км<sup>2</sup> в 10 раз быстрее, чем это можно было сделать на земле, и в 2 раза дешевле, чем традиционные методы с привлечением авиационной техники. Технология позволяет вести геологоразведку на труднодоступных участках в любое время года. На Новопортовском месторождении они совершали вылеты продолжительностью до полутора часов и протяженностью 35–55 км на скорости до 60 км/ч. Планируется, что в дальнейшем технология будет применяться для изучения территорий севера Западной Сибири — на полуостровах Ямал, Таймыр, Гыдан.

Новый метод поиска месторождений нефти с помощью БПЛА разработали специалисты Всероссийского нефтяного научно-исследовательского геологоразведочного института (ВНИГРИ) и Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики (НИУ ИТМО) (Кашеев и др., 2013). Исследователи размещают на БПЛА специальный датчик, анализирующий

состав атмосферы около поверхности земли, и лазерно-оптический комплекс (лидар), распознающий присутствие в приповерхностном слое атмосферы веществ, свидетельствующих о близости месторождения. Это, в частности, углеводородные газы: метан, этан, пропан, бутан, пентан. В результате ученые получили карту концентраций этих веществ. Если она превышена, то это признак присутствия в этом месте углеводородов. Эта технология дополняет традиционные методы поиска нефти. В комплексе с сейсморазведкой она позволяет довести достоверность распознавания веществ-индикаторов до 80%.

В целом, по оценкам специалистов и маркетинговых исследований, в настоящее время перспективный рынок БПЛА является одним из самых высокотехнологичных и динамичных секторов экономики, быстрорастущих рынков в мире и стабильно обеспечивает совокупный среднегодовой темп роста не менее 10%, но до сих пор находится в стадии формирования (Гецов и др., 2019). В настоящее время, согласно данным крупнейшей международной ассоциации беспилотных систем UVS International, БПЛА производятся в более чем 40 странах мира.

По данным маркетинговых исследований ведущих иностранных компаний (Markets and Markets, Teal Group), в 2014 г. большая часть (около 66%) применения БПЛА принадлежит к оборонному сегменту, а оставшаяся доля — к сегментам обеспечения безопасности (20%) и гражданского и коммерческого применения (14%) (Курченко и др., 2020).

По оценкам J'son & Partners Consulting, большую часть мирового рынка БПЛА занимает США. На их долю приходится половина всех продаж. Кроме того, существенно продвинулись в области развития коммерческих технологий применения БПЛА Китай, а также Франция и Канада, использующие соответствующий технологический опыт в смежных отраслях.

Доля БПЛА отечественного производства на рынке России в 2020 г. составляет 11% и ожидается ее увеличение. Основной прирост придется на коммерческий сегмент, где предполагается большая активность российских производителей. При этом потребительский массовый сегмент будет полностью контролироваться популярными марками иностранного производства с незначительным присутствием российских производителей (5%).

## ОСОБЕННОСТИ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОЛЕТОВ БПЛА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

На сегодняшний день БПЛА широко применяются в различных сферах, при этом первые

нормативно-правовые акты для них стали появляться относительно недавно. В нашей стране они регулируются “Воздушным кодексом Российской Федерации” (ВК РФ) от 19.03.1997 N 60-ФЗ. При этом, по оценкам (Быков, 2018; Грищенко, 2019), необходимо дополнительно урегулировать некоторые ключевые вопросы терминологии и классификации, создания и использования нормативно-правовых актов воздушного пространства для БПЛА.

Согласно ГОСТу (ГОСТ Р 57258-2016 “Системы беспилотные ...”), воздушное судно (ВС) – летательный аппарат, поддерживаемый в атмосфере за счет его взаимодействия с воздухом, отличного от взаимодействия с воздухом, отраженным от поверхности земли или воды. Беспилотное воздушное судно (БВС) – воздушное судно, управляемое в полете пилотом, находящимся вне борта такого ВС, или выполняющее автономный полет по заданному предварительно маршруту. Наряду с термином “беспилотное воздушное судно” также используется термин “беспилотный летательный аппарат”. Беспилотная авиационная система (БАС) – комплекс, включающий одно или несколько беспилотных ВС, оборудованных системами навигации и связи, средствами обмена данными и полезной нагрузкой, а также наземные технические средства передачи–получения данных, используемые для управления полетом и обмена данными о параметрах полета, служебной информацией и информацией о полезной нагрузке такого или таких ВС, и канал связи со службой управления воздушным движением. Наряду с термином БАС используется также термин “авиационная система с беспилотным воздушным судном (беспилотными воздушными судами)”.

Похожее определение содержится в Федеральных правилах использования воздушного пространства Российской Федерации, утвержденных постановлением Правительства РФ от 11.03.2010 № 138, но в определении основной акцент делается на словосочетании “летательный аппарат”, а не “воздушное судно”. Так, под БПЛА понимается летательный аппарат, выполняющий полет без пилота (экипажа) на борту и управляемый в полете автоматически оператором с пункта управления или сочетанием указанных способов.

Что касается весьма распространенного термина “квадрокоптер” и “дрон” (a drone – трутень) по отношению к БПЛА, то его стандартизированного определения в ВК РФ или Правилах использования воздушного пространства не содержится. Связано это с тем, что под квадрокоптером понимается летательный аппарат, построенный по вертолетной схеме с несущими винтами и управляемый извне внешним пилотом. То есть квадрокоптер – это разновидность БПЛА, поэтому легальное определение беспи-

лотного воздушного судна относится и к понятию “квадрокоптер” как более широкое.

Стоит отметить, что до 2016 г. использование БПЛА в целях осуществления полетов в воздушном пространстве Российской Федерации не было регламентировано. На сегодняшний день необходимо провести ряд обязательных процедур для учета, регистрации, сертификации, страхования и др. беспилотных гражданских воздушных судов с максимальной взлетной массой от 0.25 до 30 кг, ввезенных или произведенных в Российской Федерации. Эти действия и согласования регламентируются Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 мая 2019 г. № 658 “Об утверждении Правил учета беспилотных...” (при этом БПЛА весом до 250 г не были учтены, что вывело их за пределы правового поля, регулирующего их использование) и реализуются через сервисы порталов Федерального агентства воздушного транспорта (Росавиация) и государственных и муниципальных услуг Российской Федерации (Госуслуги). Однако в настоящее время такая возможность для последнего сервиса еще до конца не реализована. С одной стороны, такой многоступенчатый подход гарантирует безопасное перемещение БПЛА, с другой, серьезно усложняет использование гражданских БПЛА в различных сферах.

3 февраля 2020 г. было подписано постановление правительства №74 “О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства Российской Федерации”, согласно которому БПЛА смогут совершать полеты на высоте до 150 м без получения разрешения в Единой системе организации воздушного движения, что является определенным плюсом не только для коммерческих и научных интересов, включая цели ДЗЗ.

Таким образом, учитывая активный темп роста технологий БПЛА, анализ законодательных инициатив в нашей стране показывает, что вопросам правового регулирования БПЛА хотя и уделяется внимание, но оно находится на стадии формирования и связано в основном с созданием нормативно-правовых актов по вопросам использования воздушного пространства, терминологии, классификации. При этом правовая база не систематизирована, отсутствуют механизмы реализации, мониторинга, юридической ответственности. Поэтому актуально и необходимо создание ряда законов, обеспечивающих правовой контроль над всеми аспектами деятельности БПЛА, корректировку уже существующих и регулярное обновление правил их использования. Первым шагом должно быть создание единого интернет портала, предоставляющего сервис государственной услуги для упрощения процедуры по учету, регистрации и сертификации БПЛА.

На следующем этапе должна быть решена проблема автоматизации получения разрешения на выполнение полетных заданий БПЛА, в том числе для БПЛА, использующих интеллектуальные технологии для построения маршрутно-полетных заданий.

### ОСОБЕННОСТИ ПРАВОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ БПЛА В ДРУГИХ СТРАНАХ

В других странах, например США, регистрация БПЛА проходит по упрощенной процедуре. По данным Федерального авиационного управления США (FAA), полеты на БПЛА в США разрешены. Необходимо лишь зарегистрировать БАС массой от 0,25 до 25 кг. Сделать это может гражданин США старше 13 лет на специальном сервисе, заплатив пошлину. После регистрации владелец получает по почте сертификат и номер для размещения на корпусе БПЛА (номер можно использовать на всех аппаратах одного владельца). Сертификат действителен три года.

Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации определены Федеральным законом 112-95 ст. 336 (Public Law 112-95, Section 336) для судов некоммерческого назначения и Воздушным кодексом, ч. 107 (Federal Regulations (14 CFR) part 107) для судов весом менее 55 фунтов (25 кг) коммерческого назначения. Аппараты взлетной массой больше 25 кг проходят более сложную процедуру регистрации (Курченко и др., 2020).

Всеми вопросами подобного рода на федеральном уровне занимается Федеральное управление авиации. Федеральные законы запрещают БПЛА подниматься выше 122 м, летать ближе 5 миль от аэропортов и подниматься в воздух над некоторыми национальными парками. Вес БПЛА не может превышать 25 кг. Кроме того, нужно помнить о том, что в каждом штате вводятся свои нормы и правила полетов, поэтому следует внимательно изучать требования FAA и местных властей.

В Китае, по данным Администрации гражданской авиации Китая (CAAC), полеты на БПЛА также разрешены. Любые БПЛА массой 250 г и более должны быть также зарегистрированы в CAAC. Все БПЛА, предназначенные для коммерческого использования, требуют лицензии. Пилоты должны поддерживать прямой визуальный контакт с БПЛА во время полета. Запрещены полеты на высоте более 120 м над землей, в густонаселенных районах, в пределах любого аэропорта или аэродрома. Для БПЛА массой от 7 до 116 кг требуется лицензия CAAC. Для управления БПЛА массой более 116 кг требуется не только лицензия пилота, но и сертификация БПЛА для работы.

Деятельность гражданской авиации в основном регулируется “Законом о гражданской авиации КНР”, “Общими правилами полетов КНР” и “Положением об общем авиационном управлении полетом”. Регулирующее агентство по гражданским полетам – Управление гражданской авиации Китая – выпустило консультативные положения, в которых устанавливаются руководящие принципы для полета БПЛА. Ожидается, что эти промежуточные меры будут обновлены по мере развития промышленности и нормативной базы БПЛА. Положением о контроле над полетом средств общей авиации является административное регулирование, которое применяется ко всем коммерческим и рекреационным операциям воздушных судов, за исключением тех, которые участвуют в общественном воздушном транспорте. Общая авиация в соответствии с законодательством Китая используется для авиационных операций отличных от военных полетов, полицейских воздушных полетов и таможенных антиконтрабандных полетов и общественных воздушных перевозок. Положение включает в себя следующие требования: к полетам с целью проведения исследований в области промышленности, сельского хозяйства, лесного хозяйства, рыболовства, добычи ПИ и строительства; к полетам с медицинскими целями, аварийного спасения и ликвидации последствий стихийных бедствий, метеорологического наблюдения, мониторинга океана, научных экспериментов, ДЗЗ и картирования, а также получения информации для образования и обучения, культуры и спорта, туризма и экскурсий и т.д. Нормативные акты, регламентирующие правила и порядок регистрации: “Закон о гражданской авиации КНР”; “Общие правила полетов КНР”; “Положение об общем авиационном управлении полетом” (Liao et al., 2018; Курченко и др., 2020).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, анализ отечественной и зарубежной литературы показал, что на сегодняшний день очень мало публикаций комплексного применения БПЛА (обработка, сбор информации, управление, установка полезной нагрузки) для решения задач в ходе выполнения основных геологоразведочных и поисково-оценочных процессов, а также на начальных производственных этапах.

В нашей стране прогнозированием и поиском рудных месторождений ПИ занимаются в основном в Сибирском автономном округе, а в других странах – преимущественно в Канаде и Швеции.

В подобных исследованиях БПЛА используются в основном для геофизических целей (магниторазведка) с целью прогнозирования оруденения, так как магнитные методы являются более популярными в поиске минерализации, чем, на-

пример, гравитационные. Первые могут быть быстро записаны с воздуха, не требуют больших усилий и времени, а также являются менее дорогостоящими. С помощью этого геофизического метода могут быть идентифицированы структурные образования, разрывные нарушения, магматические тела, метаморфические образования и др.

Нефтегазовая промышленность первой применила технологии БПЛА, которые широко используются в различных областях геологоразведочных и поисково-оценочных работ, начиная от предварительного анализа перспективных участков, заканчивая геодезическими съемками для проектирования и подготовки сейсморазведки. В настоящее время они уже стали дополнением к традиционным методам поиска, а в будущем могут стать их полноценной заменой.

Проведение в настоящее время множества научных международных и всероссийских конференций, форумов, выпусков изданий тематических журналов и сборников говорит о повышенном интересе к рассматриваемым технологиям и важности их применения.

Актуальность и перспективность использование технологий БПЛА в нашей стране очевидны, так как России необходимо преодолеть отставание в данной области от ведущих стран мира, а также для решения задач эффективного изучения огромных перспективных территорий.

Однако существует ряд факторов, сдерживающих развитие рынка и технологий БПЛА: отсутствие нормативно-правовой базы для интеграции БПЛА в единое воздушное пространство — при этом эта проблема не решена полностью ни в одной стране мира; урегулированных вопросов сертификации, страхования и регистрации.

На сегодняшний день БПЛА производят более чем в 40 странах мира. Превалирующую долю мирового рынка занимают США. При этом в ближайшем будущем ожидается спрос на европейско-азиатских рынках, так как технологии этих государств стремительно развиваются, производя более экономичные устройства, не уступающие аналогам по качеству.

Основной интерес БПЛА представляется для ведомств и предприятий, решающих задачи мониторинга объектов, получения пространственных данных (например, картографирования) и др.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Бортников Н.С., Лобанов К.В., Волков А.В., Галямов А.Л., Мурашов К.Ю.* Арктические ресурсы золота в глобальной перспективе // Арктика: экология и экономика. 2014. № 4(16). С. 28–37.

*Быков А.И.* К некоторым вопросам правового регулирования полетов беспилотных летательных аппаратов

на территории Российской Федерации // Вест. ВГУ. Сер.: Право. 2018. № 4. С. 194–199.

*Гецов П., Начев С., Ванг Бо, Зафиров Д.* Высокооточные беспилотные летательные аппараты - сегодня и завтра // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 1. С. 84–91.

ГОСТ Р 53863-2010 Воздушный транспорт. Система технического обслуживания и ремонта авиационной техники. Термины и определения. 2017

*Волков А.В., Галямов А.Л., Лобанов К.В.* Минеральное богатство Циркумарктического пояса // Арктика: экология и экономика. 2019. № 1(33). С. 106–117.

*Грищенко Г.А.* Правовое регулирование беспилотных летательных аппаратов: российский подход и мировая практика // Вест. унив-та им. О.Е. Кутафина (МГЮА). 2019. № 12(64). С. 129–136.

*Егоров В.И.* Морфоструктурные исследования площадей развития кимберлитового магматизма. Дис. ... канд. геогр. наук. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 134 с.

*Кашеев С.В., Данилов О.Б., Жевлаков А.П., Мак А.А., Ильинский А.А., Митасов В.И., Шапиро А.И.* Способ дистанционного поиска новых месторождений нефти и газа // пат. RU 2498358 С1. Патентное ведомство. Россия. 2013.

*Курченко Н.Ю.* Нормативно-правовая база использования беспилотных авиационных систем. Краснодар: КубГАУ, 2020. 41 с.

*Иванова Ю.Н., Выхристенко Р.И., Викентьев И.В.* Геологическая позиция и структурный контроль оруденения Тоупугол-Ханмейшорского района (Полярный Урал) по результатам дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2019. № 3. С. 66–76.

*Иванова Ю.Н., Выхристенко Р.И., Викентьев И.В.* Структурный контроль золоторудной минерализации центральной части Малоуральского вулканоплутонического пояса (Полярный Урал) по результатам анализа мультиспектральных снимков космического аппарата Landsat 8 // Исслед. Земли из космоса. 2020 (в печати).

Морфоструктурные исследования: теория и практика / Под ред. Н.В. Васильковского. М.: Наука, 1985. 212 с.

*Остроухов А.В., Климина Е.М.* Ландшафтное картирование труднодоступных территорий с использованием геоинформационных технологий (на примере особо охраняемых территорий Хабаровского края) // Современ. пробл. дист. зондир. Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 1. С. 139–149.

*Пантелейкин Е.М.* Владимир Макаров: “Россия — страна с высоким интеллектуальным потенциалом” // Промышленные страницы Сибири. 2009. № 31. URL: <http://www.epps.ru>.

Разработка программного обеспечения для обработки снимков, полученных с беспилотных летательных аппаратов / Ред. Н.Ю. Курченко, Я.А. Ильченко, Е.В. Труфляк. Краснодар: КубГАУ, 2019. 60 с.

*Рубцова Н.Э.* Обработка данных БПЛА в программе UASMaster // Геоматика. 2014. № 1. С. 34–44.

Сайт компании “Microdrones”. URL: <http://www.microdrones.com>.

Сайт компании “UgCS”. URL: <http://www.ugcs.com>.

Федеральный закон “О внесении изменений в Воздушный кодекс Российской Федерации в части использования беспилотных воздушных судов” от



03.07.2016 № 291-Ф3 // СПС Консультант Плюс. URL: <http://www.consultant.ru>.

Фирсов А.П., Злыгостев И.Н., Савлук А.В., Попадюк И.Ф., Эпов М.И., Василевский А.Н. Аэромагнитная низковысотная съемка с БПЛА: достижения, перспективы, проблемы // Мат. V Всерос. науч.-прак. конф. “Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические и инновационно-технологические направления ее повышения”. 2018. С. 325–330.

Храмов А.В., Ермолаев А.А., Шалашова А.И., Контрош Л.В. Возможности экологического мониторинга с применением БПЛА в России // Изв. СПбГЭТУ “ЛЭТИ”. 2017. № 7. С. 79–84.

Arroyo P., Kalacska M., Inamdar D., Soffer R. Implementation of a UAV–Hyperspectral Pushbroom Imager for Ecological Monitoring // *Drones*. 2019. V. 3. № 12. P. 2–24. <https://doi.org/10.3390/drones3010012>

Cunningham M., Samson C., Wood A., Cook I. Aeromagnetic Surveying with a rotary-wing unmanned aircraft system: a case study from a zinc deposit in Nash Creek, New Brunswick, Canada // *Pure and applied geophysics*. 2018. V. 175(9). P. 3145–3158. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1736-2>

Froideval L., Padoja K., Garestier F., Moulon P. A. Low-cost open source workflow to generate georeferenced 3D SfM photogrammetric models of rocky outcrops // *The Photogrammetric Record. The Remote Sensing and Photogrammetry Society and John Wiley & Sons Ltd*. 2019. P. 1–20. <https://doi.org/10.1111/phor.12297>

Gervaix F., Weidmann Yv., Dongen E., Ryan J.C. UAV mapping of a Greenland glacier // *GIM International*. 2018. V. 32(3). P. 31–33.

Klapa P., Božek P., Piech I. Charting topographic maps based on UAV data using the image classification method // *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. 2019. № 2. P. 77–85. <https://doi.org/10.15576/GLL/2019.2.77>

Liao X.H., Zhang Y., Su F.Z., Yue H.Y., Ding Z. UAVs Surpassing Satellites and Aircraft in Remote Sensing over China // *Int. J. Rem. Sen.* 2018. V. 39. P. 7158–7173. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1515511>

Malehmir A., Dynesius, Paulusson K., Paulusson A. The potential of rotary-wing UAV-based magnetic surveys for mineral exploration: A case study from central Sweden // 2017. *The Leading Edge*. V. 36(7). P. 552–557. <https://doi.org/10.1190/tle36070552.1>

Milas A.S., Cracknell A.P., Warner T.A. Drones – the third generation source of remote sensing data // *Int. J. Rem. Sen.* 2018. V. 39. № 21. P. 7125–7137. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1523832>

Parshin A., Grebenkin N., Morozov V., Shikalenko F. First results of a low-altitude UAS gamma survey by comparison with the terrestrial and aerial gamma survey data // *Geophysical Prosp.* 2018. V. 66(7). P. 1433–1438. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12650>

Su X., Dong S., Liu S., Cracknell A.P., Zhang Y., Wang X., Liu G. Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to study Wild Yak in the highest desert in the world // *Int. J. Rem. Sen.* 2018. V. 39. P. 7158–7173. <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1441570>

Tong X., Liu X., Chen P., Liu S., Luan K., Li L., Hong Z. Integration of UAV-Based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the ree-Dimensional Mapping and Monitoring of Open-Pit Mine Areas // *Int. J. Rem. Sen.* 2015. V. 7. P. 6635–6662. <https://doi.org/10.3390/rs70606635>

Vollgger S., Micklethwaite S., Cruden A.R. Applications of UAVs in Mining Geology and Mineral Exploration // SEG conf. Hobart, Australia. 2015.

Walter C., Braun A., Fotopoulos G. High-resolution unmanned aerial vehicle aeromagnetic surveys for mineral exploration targets // *Geophysical Prospecting*. 2020. V. 68. P. 334–349. <https://doi.org/10.1111/1365-2478.12914>

## The Use of Unmanned Aerial Vehicles for the Search and Prediction of Ore Mineralization

Yu. N. Ivanova<sup>1,2</sup>, K. S. Ivanov<sup>3</sup>, M. K. Bondareva<sup>4</sup>, I. G. Ivanov<sup>4</sup>, and A. O. Zhukov<sup>5,6</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2</sup>*Peoples' Friendship University of Russia (RUDN University), Moscow, Russia*

<sup>3</sup>*Space Command, Moscow, Russia*

<sup>4</sup>*Main Trial Centre for Testing and Control of Space Means named after G.S. Titov, Krasnoznamensk, Moscow region, Russia*

<sup>5</sup>*Institute of Astronomy RAS, Moscow, Russia*

<sup>6</sup>*Special Design Bureau of the Moscow Power Engineering Institute, Moscow, Russia*

The article is devoted by the questions to the review and analysis of domestic and foreign literature the use of unmanned aerial vehicles for the search and prediction of ore deposits in Russia and other countries. The unmanned aerial systems are widely used for the purpose of environmental monitoring; creation and updating of digital cartographic information; georeferencing images to geographic coordinates, etc. in our country. These technologies are used much less frequently to search and prediction ore mineralization. Moreover, the effectiveness of their use is still low relative to other countries. Unmanned aerial vehicles are most actively being introduced and used in the oil and gas industry. These technologies can bring benefits in the main geological–exploration and prediction–evaluation processes, as well as in the initial production stages, and re-

duce financial costs. The enterprises that occupy leading positions in the development of commercial technologies for the provision of services for obtaining geospatial data, the development and application of unmanned aerial systems are considered. The analysis of the regulatory framework for the use of unmanned aerial vehicles in the Russian Federation, as well as such countries as China and the United States. These countries are leaders in this field. It is shown that in some countries with the rapid development of unmanned technologies, regulatory and legal support does not always regulate their application. Regulatory and legal support being at different stages of the legislative process in the countries.

*Keywords:* aerial photographs, unmanned aerial vehicles, remote sensing of the Earth, ore deposits, prediction

## REFERENCES

- Arroyo P., Kalacska M., Inamdar D., Soffer R.* Implementation of a UAV–Hyperspectral Pushbroom Imager for Ecological Monitoring // *Drones*. 2019. V. 3. № 12. P. 2–24. DOI: 10.3390/drones3010012
- Bortnikov N.S., Lobanov K.V., Volkov A.V., Galyamov A.L., Murashov K.Yu.* Arkticheskiye resursy zolota v global'noy politike [Arctic gold resources from a global perspective] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economy]. 2014. № 4(16). P. 28–37 (in Russian).
- Bykov A.I.* K nekotorym voprosam pravovogo regulirovaniya poletov bespilotnykh letatel'nykh apparatov na territorii Rossiyskoy Federatsii [On some issues of legal regulation of flights of unmanned aerial vehicles in the territory of the Russian Federation] // *Vestnik VGU. Seriya: Pravo* [Bulletin of the Voronezh state university. Series: law]. 2018. № 4. P. 194–199 (in Russian).
- Cracknell A.P.* UAVs: Regulations and law enforcement // *International journal of remote sensing*. 2017. V. 38. P. 3054–3067. DOI: 10.1080/01431161.2017.1302115
- Cunliffe A.M., Anderson K., DeBell L., Duffy J.P.* AUK civil aviation authority (CAA) – approved operations manual for safe deployment of light weight drones in research // *Int. J. Rem. Sen.* 2017. V. 38. P. 2737–2744. DOI: 10.1080/01431161.2017.1286059
- Cunningham M., Samson C., Wood A., Cook I.* Aeromagnetic Ssurveying with a rotary-wing unmanned aircraft system: a case study from a zinc deposit in Nash Creek, New Brunswick, Canada // *Pure and Applied Geophysics*. 2018. V. 175(9). P. 3145–3158. DOI: 10.1007/s00024-017-1736-2
- Federal'nyy zakon “O vnesenii izmeneniy v Vozdushnyy kodeks Rossiyskoy Federatsii v chasti ispol'zovaniya bespilotnykh vozdushnykh sudov” ot 03.07.2016 № 291-FZ [Federal law “On Amendments to the air code of the Russian Federation regarding the use of unmanned aircraft” from 03.07.2016 № 291-FL] // *SPS Konsul'tant Plyus*. [ATP Consultant Plus]. URL: <http://www.consultant.ru> (in Russian).
- Firsov A.P., Zlygostev I.N., Savluk A.V., Popadyuk I.F., Epov M.I., Vasilevskiy A.N.* Aeromagnitnaya nizkovysotnaya s"yemka s BPLA: dostizheniya, perspektivy, problemy [Aeromagnetic low-altitude imaging with UAVs: achievements, prospects, problems] // *Mat. V Vseros. nauch.-prakt. konf. “Effektivnost' geologorazvedochnykh rabot na almazy: prognozno-resursnyye, metodicheskiye i innovatsionno-tehnologicheskkiye napravleniya yeye povysheniya”* [Conf. “Efficiency of geological exploration for diamonds: prognosis-resource, methodological and innovative-technological directions of its increase”]. 2018. P. 325–330 (in Russian).
- Froideval L., Padoja K., Garestier F., Moulon P.* A Low-cost open source workflow to generate georeferenced 3D SfM photogrammetric models of rocky outcrops // *The Photogrammetric Record*. The Remote sensing and photogrammetry society and John Wiley & Sons Ltd. 2019. P. 1–20. DOI: 10.1111/phor.12297.
- Gervaix F., Weidmann Yu., Dongen E., Ryan J.C.* UAV mapping of a Greenland glacier // *GIM International*. 2018. V. 32(3). P. 31–33.
- Getsov P., Nachev S., Vang Bo, Zafirov D.* Precision drones – today and tomorrow // *Izv., Atmos. Oceanic Phys.* 2019. № 1. P. 1–8. DOI: 10.31857/S0205-96142019184-91
- GOST R 53863–2010 Vozdushnyy transport. Sistema tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta aviatsionnoy tekhniki. Terminy i opredeleniye [Air transport. Aircraft maintenance and repair system. Terms and definitions]. 2017 (in Russian).
- Grishchenko G.A.* Pravovoye regulirovaniye bespilotnykh letatel'nykh apparatov: rossiyskiy podkhod i mirovaya praktika [Legal regulation of unmanned aerial vehicles: the Russian approach and world practice] // *Vestnik universiteta imeni O.E. Kutafina (MGYUA)* [Bulletin of the University named after O.E. Kutafina (MGLA)]. 2019. № 12(64). P. 129–136. (in Russian). DOI: 10.17803/2311-5998.2019.64.12.129-136
- Ivanova J.N., Vyhristenko R.I., Vikentyev I.V.* Geological position and structural control of ore mineralization in the Toupugol-Khanmeyshorsky district (the Polar Urals) based on the remote sensing results // *Izv., Atmos. Oceanic Phys.* 2019. V. 55. № 9. P. 1379–1388. DOI: 10.1134/S0001433819090226
- Ivanova Yu.N., Vykhristenko R.I., Vikent'yev I.V.* Strukturnyy kontrol' zolotorudnoy mineralizatsii tsentral'noy chasti Maloural'skogo vulkanano-plutonicheskogo poyasa (Polyarnyy Ural) po rezul'tatam analiza mul'tispektral'nykh snimkov kosmicheskogo apparata Landsat 8 [Structural control of gold ore mineralization of the central part of the Malouralsky volcanic-plutonic belt (the Polar Urals) based on the analysis of multispectral images of spacecraft the Landsat 8] // *Issledovaniye Zemli iz kosmosa* [Earth exploration from space]. 2020 (in press) (in Russian).
- Kashcheyev S.V., Danilov O.B., Zhevlakov A.P., Mak A.A., Il'inskiy A.A., Mitasov V.I., Shapiro A.I.* Sposob distantsionnogo poiska novykh mestorozhdeniy nefi i gaza [The remote search method for new oil and gas deposits] // *pat. RU 2498358 S1*. Patentnoye vedomstvo. Rossiya [Pat. RU 2498358 C1. Patent Office of Russia]. 2013 (in Russian).
- Khramov A.V., Yermolayev A.A., Shalashova A.I., Kontrosh L.V.* Vozmozhnosti ekologicheskogo monitoringa s uchastiyem BPLA v Rossii [Possibilities of environmental monitoring using UAVs in Russia] // *Izvestiya SPbGETU “LETI”* [News of St. Petersburg Electrotechnical University “LETI”]. 2017. № 7. P. 79–84 (in Russian).

- Klapa P., Božek P., Piech I.* Charting topographic maps based on UAV data using the image classification method // *Geomatics, Landmanagement and Landscape*. 2019. № 2. P. 77–85. 2019. DOI: 10.15576/GLL/2019.2.77
- Kurchenko N.Yu.* Normativno-pravovaya baza ispol'zovaniya bespilotnykh aviatsionnykh sistem [The regulatory framework for the use of unmanned aircraft systems]. Krasnodar: KubGAU [Krasnodar: KubSAU], 2020. 41 p. (in Russian).
- Liao X.H., Zhang Y., Su F.Z., Yue H.Y., Ding Z.* UAV's Surpassing Satellites and Aircraft in Remote Sensing over China. *Int. J. Rem. Sen.* 2018. V. 39. P. 7158–7173. DOI: 10.1080/01431161.2018.1515511.
- Malehmir A., Dynesius, Paulusson K., Paulusson A.* The potential of rotary-wing UAV-based magnetic surveys for mineral exploration: A case study from central Sweden // 2017. *The Leading Edge*. V. 36(7). P. 552–557. DOI: 10.1190/tle36070552.1.
- Milas A.S., Cracknell A.P., Warner T.A.* Drones – the third generation source of remote sensing data // *Int. J. Rem. Sen.* 2018. V. 39. № 21. P. 7125–7137. DOI: 10.1080/01431161.2018.1523832
- Morfostrukturnyye issledovaniya: teoriya i praktika [Morphostructural studies: theory and practice] / Pod red. N.V. Vasil'kovskogo. M.: Nauka [ed. N.V. Vasilkovsky. Moscow: Nauka], 1985. 212 p. (in Russian).
- Ostroukhov A.V., Klimina Ye.M.* Landshaftnoye kartirovaniye trudnodostupnykh territoriy s ispol'zovaniyem geoinformatsionnykh tekhnologiy (na primere osobo okhranyayemykh territoriy Khabarovskogo kraya) [Landscape mapping of inaccessible territories using geoinformation technologies (on the example of specially protected territories of the Khabarovsk territory)] // *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space]. 2020. V. 17. № 1. P. 139–149 (in Russian).
- Panteleykin Ye.M.* Vladimir Makarov: “Rossiya – strana s vysokim intellektual'nym potentsialom” [Vladimir Makarov: “Russia is a country with high intellectual potential”] // *Promyshlennyye stranitsy Sibiri* [Industrial pages of Siberia]. 2009. № 31. URL: <http://www.epps.ru>.
- Parshin A., Grebenkin N., Morozov V., Shikalenko F.* First results of a low-altitude UAS gamma survey by comparison with the terrestrial and aerial gamma survey data // *Geophysical Prospecting*. 2018. V. 66(7). P. 1433–1438. DOI: 10.1111/1365-2478.12650.
- Razrabotka programmnogo obespecheniya dlya obrabotki snimkov, poluchennykh s bespilotnykh letatel'nykh apparatov [Development of software for processing images obtained from unmanned aerial vehicles] / N.Yu. Kurchenko, Ya.A. Il'chenko, Ye.V. Truflyak (eds.). Krasnodar: KubGAU [Krasnodar: KubGAU], 2019. 60 p. (in Russian).
- Rubtsova N.E.* Obrabotka dannykh BPLA v programme UASMaster [UAV data processing in the UASMaster program] // *Geomatika* [Geomatics]. 2014. № 1. P. 34–44 (in Russian). Sayt kompanii “Mikrodrony” [The site of the company “Mikrodrony”]. URL: <http://www.microdrones.com>.
- Sayt kompanii “UgCS” [The site of the company “UgCS”]. URL: <http://www.ugcs.com>.
- Su X., Dong S., Liu S., Cracknell A.Ph., Zhang Y., Wang X., Liu G.* Using an unmanned aerial vehicle (UAV) to study Wild Yak in the highest desert in the world // *Int. J. of Rem. Sen.* 2018. V. 39. P. 7158–7173. DOI: 10.1080/01431161.2018.1441570
- Tong X., Liu X., Chen P., Liu S., Luan K., Li L., Hong Z.* Integration of UAV-Based Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning for the 3-Dimensional Mapping and Monitoring of Open-Pit Mine Areas // *Rem. Sensing*. 2015. V. 7. P. 6635–6662. DOI: 10.3390/rs70606635
- Volkov A.V., Galyamov A.L., Lobanov K.V.* Mineral'noye bogatstvo Tsirkumarkticheskogo poyasa [The mineral wealth of the Circumarctic belt] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economics]. № 1(33). 2019. P. 106–117 (in Russian). DOI: 10.25283/2223-4594-2019-1-106-117
- Vollgger S., Micklethwaite S., Cruden A.R.* Applications of UAVs in Mining Geology and Mineral Exploration // SEG conference. Hobart, Australia, 2015.
- Walter C., Braun A., Fotopoulos G.* High-resolution unmanned aerial vehicle aeromagnetic surveys for mineral exploration targets // *Geophysical Prospecting*. 2020. V. 68. P. 334–349. DOI: 10.1111/1365-2478.12914
- Yegorov V.I.* Morfostrukturnyye issledovaniya ploshchadey razvitiya kimberlitovogo magmatizma [Morphostructural studies of areas of development of kimberlite magmatism]. Dis. ... kand. geogr. nauk. St. Petersburg: VSEGEI [PhD. St. Petersburg: VSEGEI], 2010. 134 p. (in Russian).