

УДК 528.8 + 629.735

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА БПЛА-ИЗМЕРЕНИЯ

© 2023 г. И. М. Алёшин^{1,2}, В. В. Дорожков³, В. В. Дьяков²,
Ф. В. Передерин¹ *, К. И. Холодков¹

¹Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва, Россия

²Геофизический центр РАН, Москва, Россия

³Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича
и Николая Григорьевича Столетовых, Владимир, Россия

*E-mail: crash@ifz.ru

Описан опыт проведения площадной съёмки с применением мультироторного беспилотного летательного аппарата на экспериментальном загородном полигоне ВлГУ площадью 4.5 га, расположенном в 25 км от г. Владимира. Проводились методические работы: измерения геомагнитного поля и аэрофотосъёмка мультиспектральной камерой. Аэромагнитная съёмка была дополнена стационарными наблюдениями и пешими измерениями. Приведены технические параметры оборудования, особенности его применения при низкой температуре и наличии снежного покрова. Произведена оценка прямого и косвенного влияния погодных условий на результаты аэромагнитной и мультиспектральной съёмки. Оказалось, что в отличие от аэрофотосъёмки, зимние погодные условия не препятствуют аэромагнитным измерениям.

Ключевые слова: аэромагнитная съёмка, аэромагнитометрия, БВС, БПЛА, мультиспектральная съёмка, квантовый магнитометр, протонный магнитометр, ДГНСС, ГНСС, экспедиция, эксплуатация БПЛА зимой.

Для цитирования: Алёшин И.М., Дорожков В.В., Дьяков В.В., Передерин Ф.В., Холодков К.И. Влияние погодных условий на БПЛА-измерения // Динамические процессы в геосферах. 2023. Т. 15. № 2. С. 89–98. http://doi.org/10.26006/29490995_2023_15_2_89

Введение

В последние несколько лет наблюдается взрывной рост применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) практически во всех областях человеческой деятельности. Геофизические исследования не являются исключением: в геофизике БПЛА применяются для магнитной разведки [Гоглев и др., 2018; Aleshin et al., 2020; Døssing et al., 2023], создания цифровых моделей рельефа [Jiménez-Jiménez et al., 2021], геолого-тектонического анализа последствий сейсмических событий [Chen et al., 2022; Cirillo et al., 2022], электро-геологоразведки [Parshin et al., 2021], аэролитологии [Turner et al., 2020], для изучения температурных аномалий и пр. В соответствии с широким кругом применения БПЛА-измерений имеется большое число используемых устройств как устанавливаемых непосредственно на аппарат, так и размещаемых на земле для сопровождения аэросъёмки. К настоящему времени практически отсутствует «золотой стандарт» методики геофизических съёмок с применением БПЛА. Поэтому актуальна задача разработки оптимальных режимов проведения соответствующих полевых работ применительно к имеющемуся оборудованию, с учётом масштаба изучаемого участка, внешних условий и др. (например, [Патент № 2739970-С1..., 2020; Фирсов и др., 2018]).

Функциональные возможности носителя и некоторые элементы полезной нагрузки могут быть ограничены погодными условиями: температурой, ветром, облачностью. На данном этапе мы имеем два основных направления исследований с привлечением БПЛА. Первое направление связано с изучением аномального геомагнитного поля Земли, второе – построением цифровых моделей

рельефа местности на основе данных аэрофото- и лидарной съёмки. Типичная, в настоящее время, площадь изучаемых нами участков составляет несколько квадратных километров.

В статье приведено описание площадных измерений с применением БПЛА вблизи г. Владимира в феврале 2023 г. Главным образом, экспедиция имела методическую направленность. Основная цель поездки состояла в изучении свойств имеющихся в нашем распоряжении БПЛА и сопрягаемой с ними аппаратуры. Планировалось на практике определить оптимальные параметры полёта, последовательность измерений и пр. Так как работа проводилась в зимнее время, мы имели возможность оценить влияние погодных факторов, таких как низкая температура воздуха, наличие снегового покрова, низкая облачность и др. на организацию работ: выбор параметров полётов, проведение измерений и, в целом, на качество получаемых результатов.

Для повышения качества аэросъёмки, оборудование, непосредственно установленное на БПЛА, должно быть дополнено наземными регистрирующими устройствами. В нашем случае это были опорная станция наземной регистрации сигналов ГНСС, предназначенная для уточнения позиций аппаратуры в момент измерений, и две магнитные вариационные станции, показания которых позволяют учесть временные геомагнитные вариации. Основная задача состояла в изучении особенностей функционирования наземных регистрирующих устройств в зимних условиях. Кроме того, наличие двух магнитных вариационных станций, различающихся принципом работы, производителем и пр., но имеющих сходные базовые характеристики, даёт возможность сравнить их работу непосредственно в полевых условиях.

Наконец, одна из методических задач экспедиции состояла в получении набора комбинированных измерений, в которых аэромагнитная съёмка дополнена наземными измерениями магнитного поля, полученные пешим магнитометром.

Место и условия проведения измерений

Измерения проводились на загородном научном экспериментальном полигоне кафедры общей и прикладной физики Владимирского государственного университета имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых (ВлГУ). Выбор места обусловлен рядом причин, такими как: отсутствие дополнительных административных ограничений на полёты, небольшое удаление от места базирования сотрудников и оборудования, наличие инфраструктуры – помещений и электроснабжения, а также заинтересованность администрации Университета. Для выполнения авиационных работ, в соответствии с законодательством, были получены все необходимые разрешения.

Погодные условия соответствовали времени года: температура воздуха в светлое время суток составляла примерно -5°C . Облачность характеризовалась низкой кромкой около 300 метров. Осадки в виде снега были незначительными или отсутствовали. Продолжительность светового дня составляла всего 9 часов. Состояние дорог позволяет без проблем добраться до места измерений. Предоставленная руководством ВлГУ инфраструктура позволила разместить стационарное измерительное оборудование и обеспечить его функционирование. Схема размещения оборудования приведена на рис. 1.

При планировании эксперимента предполагалось провести следующие измерения: установка опорной станции ГНСС, установка двух магнитных вариационных станций, приповерхностная магнитометрическая съёмка с использованием мультиротора с магнитометром минимум на двух высотах, выполнение площадной аэрофотосъёмки с использованием мультиспектральной камеры, проведение наземной пешей магнитной съёмки.

Основным инструментом для выполнения съёмки является магнитометр GeoShark производства компании Геоскан. Он выполнен в виде штанги с закреплёнными на ней квантовым магнитометром, блоком электроники с приёмником ГНСС, ГНСС-антенной, радио- и проводным интерфейсом. ГНСС-модуль записывает «сырые» измерения, что позволяет получать высокую точность в пост-обработке. Магнитометр имеет оперение для стабилизации в воздухе и крепится к мультиротору синтетическим нерастяжимым тросом, что располагает его на 20 метров ниже носителя и позволяет снизить влияние помех от силовой электроники винто-моторной группы.



Рис. 1. Схема размещения оборудования и точек наземной съёмки (крест), а также позиции опознавательных знаков (ромб). Пунктирной рамкой отмечена граница «Загородного полигона». Сплошной серой границей отмечена зона полётов. Символами 2, 3, 4 отмечены MBC SmartQuantumMag, MBC GSM-19, опорная станция ГНСС OC-113 соответственно. Точкой с обозначением 1 отмечено место взлёта и посадки БПЛА Геоскан 401

В качестве носителя был использован мультиротор Геоскан 401 – четырёхмоторное электрическое беспилотное воздушное судно. Пилотирование – со специализированным автопилотом по заданию от наземной станции управления. Мультиротор оснащён ГНСС-приёмником, «сырые» измерения которого могут быть использованы для уточнения позиции БПЛА в пост-обработке, а собственные решения используются автопилотом. Взлётная масса составляет 6.8 кг без полезной нагрузки. Максимальная масса полезной нагрузки – 3.5 кг.

Эксплуатация комплекса осуществляется с расчётом для двух человек: один из которых является оператором и при помощи наземной станции управления задаёт необходимые полётные параметры; второй выполняет необходимые действия по закреплению, откреплению магнитометра на тросе, а также следит за фактическим положением мультиротора в воздухе и относительно подготовленной площадки (рис. 2).

Комплект для наземной пешей магнитной съёмки Геодевайс MaxiMag состоит из протонного магнитометра, специального жилета для закрепления на теле человека и батареи.

Использовались две магнитные вариационные станции (МВС) SmartQuantumMag производства Геодевайс и GSM-19M производства GEM Systems. Станции были установлены на небольшом удалении друг от друга. Параметры приборов приведены в таб. 1. Регистрация геомагнитных вариаций одновременно двумя приборами велась с целью сравнения эксплуатационных характеристик оборудования.



Рис. 2. Взлёт носителя Геоскан 401 и процедура присоединения магнитометра

Таблица 1.

**Сравнительная таблица параметров магнитометров,
использующихся в этом исследовании**

	Чувствительность	Частота	Температурный режим	Особенности
СмартКвантумМаг	2 пТл/√Гц	До 100 Гц	-40° С + 40° С	Квантовый цезиевый
GSM-19M	0.022 нТл@1 Гц	До 2 Гц	-40° С + 50° С	Оверхаузер
МаксиМаг	0.05 нТл@1 Гц	До 5 Гц	-40° С + 60° С	Оверхаузер
Геошарк	1 пТл/√Гц	До 1000 Гц	-20° С + 40° С	Квантовый рубидиевый

Мультиспектральная камера Pollux производства компании Геоскан имеет 5 каналов. Каждый канал представляет собой отдельную оптическую систему со своими объективами с фильтрами и светочувствительными матрицами. Электроника камеры заботится о том, чтобы захватить изображение каждой матрицы одновременно по сигналу от БВС-носителя. Центральные длины волн оптических фильтров: 470, 560, 665, 720 и 840 нм.

Всё мобильное оборудование, а также MBC SmartQuantumMag, оснащены ГНСС-приёмниками с возможностью сохранения «сырых» спутниковых измерений. Это позволяет получить субсантиметровую точность при определении позиции оборудования в заданный момент времени. Для осуществления такой обработки требуются синхронные спутниковые измерения (желательно) неподвижной опорной станции. В качестве опорной станции использовалась комбинация приёмника ОС-113 компании Orient Systems и антенны типа Choke-Ring фирмы CHCNAV. Опорная станция выполняла измерения с частотой 10 Гц систем ГЛОНАСС, COMPASS/Beidou и NAVSTAR/GPS.

Измерения и результаты

Предварительная подготовка производилась в соответствии с Руководством по производству полётов ИФЗ РАН. Был совершён выезд экипажа беспилотной авиационной системы (БАС) в район полётов и произведена оценка воздушной обстановки, установлены места предполагаемых взлёта и посадки. Произведена оценка предполагаемых погодных условий, включая высоту облачности и вероятность

осадков. При планировании использовалась аэронавигационная информация из Системы предоставления планов полетов по сети Интернет и телефонной сети (<https://sppi.ivprf.ru/>), системы Небосвод (<https://skyarc.ru/>) и др.

Для выполнения полётов необходимо составить полётное задание для автопилота БПЛА, которое формируется на наземной станции управления. Полётное задание составляется заблаговременно, на этапе предварительной подготовки. Перед осуществлением полётов задание корректируется на местности. Отметим, что такая корректировка неизбежна, т.к., например, невозможно заранее точно указать фактическое положение площадки взлёта и посадки. Кроме этого, дополнительно учитываются возможное наличие ЛЭП, размещение мачт освещения и связи, высокие деревья, особенности рельефа, которые не всегда могут быть учтены при первичном планировании.

Задание включает в себя место взлёта, место посадки, точки ожидания и перечень точек, в которые должен прийти мультиротор в определённой последовательности. Эти точки получены из линий, называемых галсами, расположенных параллельно друг другу в горизонтальной плоскости. Визуально полётное задание представляет собой набор линий, разбитых на точки, и метки последовательности исполнения (см. рис. 3).



Рис. 3. Предварительное полётное задание. Кругом обозначена точка ожидания, числами – последовательность, в которой автопилот будет следовать на соответствующие точки; галсы изображены линиями

Было выполнено два полётных задания. Все полётные задания были сформированы для мультиротора, в первом, в качестве полезной нагрузки, использовался магнитометр, во втором – мультиспектральная камера. Перед проведением авиационных работ были установлены опорная станция ГНСС и две магнитных вариационных станции, обозначенных на рис. 1 цифрами 4, 2 и 3 соответственно. Для осуществления безопасного взлёта и посадки мультиротора была предварительно расчищена от снега площадка 8×8 метров (обозначена точкой с обозначением 1 на рис. 1) и произведена предполётная

подготовка мультиротора с учётом погодных условий. Первое полётное задание выполнялось на высоте 80 метров относительно поверхности (истинная высота).

Затем полётное задание было скорректировано: уменьшено количество узловых точек, увеличено расстояние между галсами. Проведена повторная площадная съёмка на высоте 80 метров и новая съёмка на истинной высоте 100 метров. Отметим, что полётные задания прерывались для замены батареи носителя ввиду заметного снижения их полезной ёмкости из-за низкой температуры воздуха.

После завершения аэромагнитной съёмки на мультиротор была установлена мультиспектральная камера PolLux, и загружено второе полётное задание – площадная аэрофотосъёмка с разрешением 3 см/пикс, продольным перекрытием 70% и поперечным перекрытием 50%. Аэрофотосъёмка производилась в нади́р (камера вертикально вниз). Методически она не отличается от аэрофотосъёмки обычной камерой в видимом диапазоне. Похожая съёмка проводилась для разработки методики обнаружения температурных аномалий по ближней ИК-области спектра [Patent US20030123518A1..., 2003; Fu et al., 2017] и литологии в районах с растительностью [Crippen, Blom, 2001] по мультиспектральным данным. Перед проведением полёта на территории съёмки были установлены опознавательные знаки (маркеры). Они служили для определения точной позиции и ориентации сканируемой зоны, а также для повышения качества аэрогеодезических измерений и фотограмметрической обработки данных. Маркеры размером 50×50 см были изготовлены из тентовой ткани ПВХ с нанесённым ярким рисунком, обеспечивающим хорошую видимость. Для уточнения координат опознавательных знаков на местности производилась наземная геодезическая съёмка с использованием ГНСС приёмника PrinCE i50 (см. рис. 1).

Пешая магнитная съёмка производилась после аэромагнитной и в значительно меньшем масштабе: были выполнены несколько опорных маршрутов (см. рис. 1) При проведении аэромагнитной съёмки использовался параметр «огибание рельефа», что позволило проводить измерения на равном удалении от поверхности, преобразуя галсы в кривые. Выбор разрешающей способности при переходе от кривых к точкам для автопилота определён сложностью рельефа, однако имеет ограничение: из-за слишком большой плотности точек автопилот не сможет развить достаточную воздушную скорость БПЛА и подвесного аэромагнитометра и оперение последнего будет несостоятельно для стабилизации. Раскачивания и вращение штанги магнитометра делают измерения крайне сложными в интерпретации. Ветер также вносит корректировки в построение полётного задания, в частности на выбор азимутов галсов.

Как отмечено ранее, особенностью данного мероприятия являлось то, что работы проводились зимой, в районе с мощным снежным покровом и при низкой кромке облачности. Из-за высокой отражательной способности водяного пара и снега выделить какие-либо детали на результирующих снимках крайне затруднительно. Отмечен сбой съёмной карты памяти в мультиспектральной камере, т.к. установленный в камеру образец не предусматривает работу при отрицательных температурах.

Были получены данные магнитометрических измерений с двух МВС – аэромагнитометра и пешеходного магнитометра, данные спутниковых измерений всех приборов, имеющих приёмники ГНСС, а также опорной станции. В результате их обработки совместно с данными другой опорной станции в г. Владимире были получены субсантиметровые геопространственные решения для всех устройств, кроме МВС GSM-19, которая приёмником ГНСС не оснащена.

Обработка магнитометрических данных показала хорошую корреляцию (рис. 4, справа) данных двух МВС. Чувствительность установленного оборудования демонстрирует реакция на размещение вблизи каждой из станций опознавательных знаков (рис. 4, сверху), которые закреплялись на месте железными утяжелителями. Для сравнения на рис. 4 приведены измерения, выполненные удалённой МВС, расположенной в 200 км от места проведения работ. Были использованы данные уникальной научной установки «Среднеширотный комплекс геофизических наблюдений «Михнево» ИДГ РАН. Геофизическая обсерватория «Михнево» расположена в Ступинском районе Московской области в 80 км от г. Москвы. В состав комплекса совместно с ГЦ РАН была введена в эксплуатацию геомагнитная обсерватория [Krasnoperov et al., 2023]. Общий пятичасовой ход коррелирует с измерениями на полигоне и геомагнитной обсерватории «Михнево» (рис. 4, снизу).

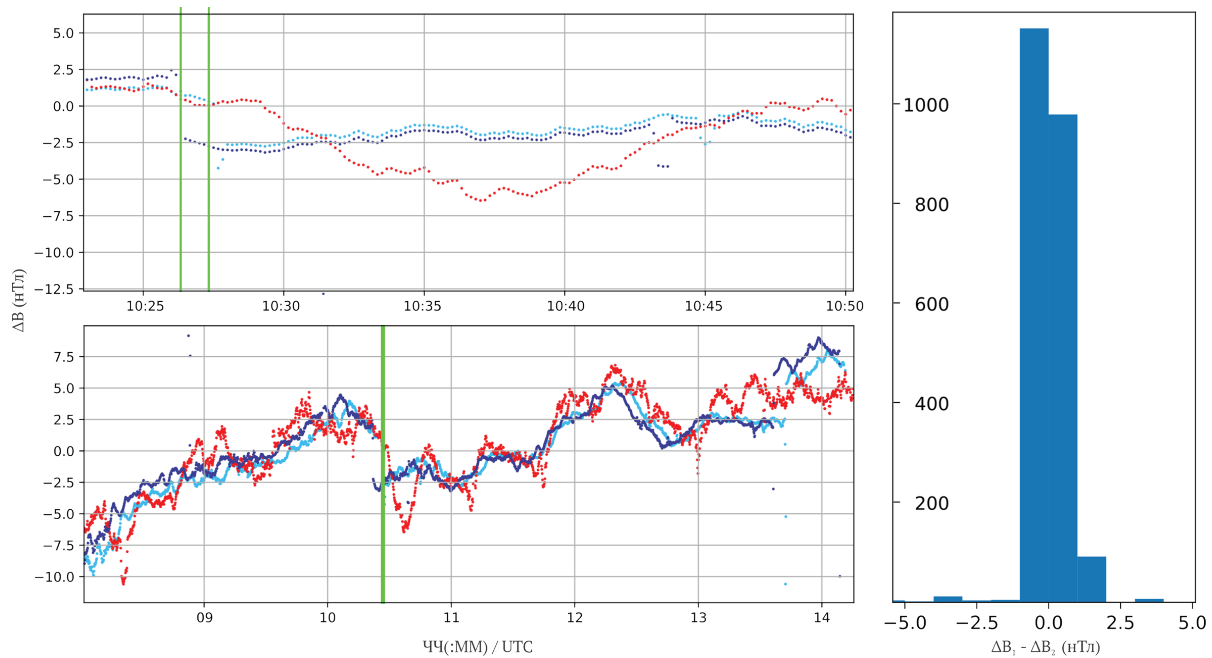


Рис. 4. Сверху и снизу: графики вариаций (ΔB) магнитного поля MBC SmartQuantumMag (фиолетовый), MBC GSM-19 (синий), а также MBC «Михнево» (красный). На верхнем графике отображены события установки меток с железными утяжелителями возле MBC – установка возле SmartQuantumMag отмечена меткой 1, возле GSM-19 меткой 2. На нижнем отображён пятичасовой ход вариаций. Справа: гистограмма различий вариаций магнитного поля MBC SmartQuantumMag и MBC GSM-19. Часовой пояс времени – UTC+0

Заключение

Сокращение времени полезной эксплуатации при температуре окружающей среды -5°C для высокотоковых нагрузок, наподобие БПЛА Геоскан 401, составило порядка 30%. Это связано со снижением полезной ёмкости литий-полимерных аккумуляторов, применяемых в такой технике. Наземный квантовый и аэромагнитометр показали более существенное снижение времени автономной работы, в частности, из-за необходимости подогрева чувствительного элемента этих магнитометров. На автономности GSM-19 низкие температуры сказались незначительно. Кроме этого, дополнительные климатические требования возникают к накопителям данных внутри устройств – часто их работоспособность гарантируется лишь при положительных температурах. Сокращение светового дня зимой накладывает временные ограничения на возможность как полётов, так и наземных измерений. Подробное заблаговременное планирование и подготовка оборудования помогут высвободить полезное, светлое, время суток для производства работ в поле. Следует отметить, что отрицательные температуры и наличие глубокого снегового покрова значительно усложняют подготовку и использование оборудования.

В результате проделанной работы были откорректированы регламенты эксплуатации аэромагнитометра и БПЛА Геоскан 401, наземных магнитометров, опорной станции – во всех случаях требуются дополнительные меры по обеспечению электропитания.

Сравнение изменений двух магнитных вариационных станций показало их практическую идентичность. Обе станции хорошо отображали внесение помех, а также суточные вариации. Подтвердилась невозможность использования мультиспектральной камеры при съёмке местности со снежным покровом и при низкой кромке облаков. Как замечено ранее, водяной пар и снег обладают исключительно высокой отражательной способностью [Алтынов и др., 2010], динамического диапазона длинноволновых каналов (700–800 нм) недостаточно для различения каких-либо особенностей у объектов съёмки – светочувствительные матрицы перенасыщаются.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИФЗ РАН и ГЦ РАН.

Благодарности

Авторы благодарят руководство экспериментального научного полигона ВлГУ, руководство ИДГ РАН, а также сотрудников ИФЗ РАН проф. В. Н. Конешова и в.н.с. М. Н. Дробышева за помощь в организации и выполнении измерений.

При проведении работ использовано оборудование ИФЗ РАН и ГЦ РАН.

Список литературы

Алтынов А.Е., Малинников В.А., Попов С.М., Стеценко А.Ф. Спектрометрирование ландшафтов: Учебное пособие для студентов. М. : Изд. МИИГАиК. УПП «Репрография», 2010. – 120 с.

Гоглев Д.А., Капитан Д.Я., Коврижных П.Н., Кожевников С.Н. Маловысотная аэромагнитная съемка с применением беспилотного летательного аппарата (БПЛА) / Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ–НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), (Мирный, 29.05–01.06 2018 г.). 2018. С. 357–358. EDN: YRYSIP.

Патент № 2739970 С1 Российская Федерация, МПК G01V 3/08, G01V 3/165. Способ проведения многоуровневой магнитометрической съемки : № 2020119577 : заявл. 14.06.2020 : опубл. 30.12.2020 / О. А. Захарова, В. Д. Гулин, Г. С. Григорьев, Е. В. Сиваев, В. Г. Анцев; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «Газпромнефть Научно-Технический Центр». EDN: GHYQCG.

Фирсов А.П., Злыгостев И.Н., Савлук А.В., Попадюк И.Ф., Энов М.И., Василевский А.Н. Аэромагнитная низковысотная съемка с БПЛА: достижения, перспективы, проблемы / Эффективность геологоразведочных работ на алмазы: прогнозно-ресурсные, методические, инновационно-технологические пути ее повышения: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 50-летию Алмазной лаборатории ЦНИГРИ–НИГП АК «АЛРОСА» (ПАО), (Мирный, 29.05–01.06 2018 г.). 2018. С. 325–330. EDN: YRZRZZ.

Aleshin I.M., Soloviev A.A., Sidorov R.V., Solovieva E.N., Kholodkov K.I. Prospects of Using Unmanned Aerial Vehicles in Geomagnetic Surveys // Seismic Instruments. 2020. Vol. 56. No 5. P. 522–530. DOI: 10.3103/S0747923920050059.

Chen X., Hu G., Liu X. Recognition of Earthquake Surface Ruptures Using Deep Learning // Appl. Sci. 2022. Vol. 22. No 12. P. 11638. DOI: 10.3390/app122211638.

Cirillo D., Cerritelli F., Agostini S., Bello S., Lavecchia G., Brozzetti F. Integrating Post-Processing Kinematic (PPK)–Structure-from-Motion (SfM) with Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Photogrammetry and Digital Field Mapping for Structural Geological Analysis. ISPRS // Int. J. Geo-Inf. 2022. No 11. P. 437. DOI: 10.3390/ijgi11080437.

Crippen R.E., Blom R. Unveiling the Lithology of Vegetated Terrains in Remotely Sensed Imagery // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 2001. No 67. P. 935–943.

Døssing A., Kolster M. E., Rasmussen T.M., Petersen J.T., da Silva E.L.S. UAV-towed scalar magnetic gradiometry: A case study in relation to iron oxide copper-gold mineralization, Nautanen (Arctic Sweden) // The Leading Edge. 2023. Vol. 2. No 42. P. 103–111. DOI: 10.1190/tle42020103.1.

Fu T., Liu J., Tian J. VIS-NIR multispectral synchronous imaging pyrometer for high-temperature measurements // Review of Scientific Instruments. 2017. No 88. P. 064902. DOI: 10.1063/1.4985170.

Jiménez-Jiménez S.I., Ojeda-Bustamante W., Marcial-Pablo M.d.J., Enciso J. Digital Terrain Models Generated with Low-Cost UAV Photogrammetry: Methodology and Accuracy. ISPRS // Int. J. Geo-Inf. 2021. No 10. P. 285. DOI: 10.3390/ijgi10050285.

Krasnoperov R., Sidorov R., Grudnev A., Karapetyan J., Lazarev D. On the Magnetic Properties of Construction Materials for Magnetic Observatories // Appl. Sci. 2023. No 13. P. 2246. DOI: 10.3390/app13042246.

Parshin A., Bashkeev A., Davidenko Y., Persova M., Iakovlev S., Bukhalov S., Grebenkin N., Tokareva M. Lightweight Unmanned Aerial System for Time-Domain Electromagnetic Prospecting–The Next Stage in Applied UAV-Geophysics // Appl. Sci. 2021. No 11. P. 2060. DOI: 10.3390/app11052060.

Patent US20030123518A1 Dual wavelength thermal imaging system for surface temperature monitoring and process control. Published 2003-07-03 / Abbasi H., Puri I., Rue D.

Turner R.M., MacLaughlin M.M., Iverson S.R. Identifying and mapping potentially adverse discontinuities in underground excavations using thermal and multispectral UAV imagery // *Engineering Geology*. 2020. No 266. P. 105470. <http://doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.105470>

UAV SURVEYS IN COLD WEATHER

© 2023 I. M. Aleshin^{1,2}, V. V. Dorozkov³, V. V. Dyakov², F. V. Perederin^{1,*}, K. I. Kholodkov¹

¹*Schmidt Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

²*The Geophysical Center of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

³*The Vladimir State University named after Aleksandr Grigorevich and Nikolay Grigorevich Stoletov, Vladimir, Russia*

**E-mail: crash@ifz.ru*

This article describes the details of area survey with multirotor UAV. We performed geomagnetic and air photography with multispectral camera. Air survey was supplemented with ground stationary and on-foot measurements. Attention brought to the cold weather and snow cover of the region of interest at time of the fieldwork, as well as the environmental effect on the equipment and particular issues with its utilization. In the end we evaluated the direct and indirect effect on the results of both magnetic and multispectral surveying.

Keywords: Aeromagnetic survey, aeromagnetometry, UAVs, multispectral survey, quantum magnetometer, proton magnetometer, DGNSS, GNSS, expedition, operation of UAVs in winter.