

Повышение точности аэрофотосъемки с применением наземных контрольных точек



Рашид Курбанович Курбанов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник;

Наталья Ивановна Захарова,
аспирант, младший научный сотрудник;
Дмитрий Михайлович Горшков,
младший научный сотрудник,
e-mail: smedia@vim.ru

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, Москва, Российская Федерация

Реферат. Показали возможность оперативного сбора актуальной информации о состоянии сельскохозяйственных угодий с помощью беспилотного воздушного судна. Отметили, что использование наземных опорных точек повышает точность измерений в проекте, помогает сравнить результаты постобработки проекта с реальными измерениями. (*Цель исследования*) Сравнить результаты стандартной и высокоточной постобработки данных аэрофотосъемки с использованием наземных опорных точек. (*Материалы и методы*) Провели аэрофотосъемку на селекционном поле площадью 1,1 гектара. Использовали беспилотное воздушное судно *DJI Matrice 200 v2* с приемником *GNSS L1/L2* и модифицированной камерой *DJI X4S*, пять опорных точек размером 50 × 50 сантиметров и мультиспектральный *GNSS*-приемник *EMLID Reach RS2*. Изучили результаты научных исследований по применению наземных опорных точек при проведении аэрофотосъемки. (*Результаты и обсуждение*) Определили, что погрешность геопривязки изображений, полученных посредством беспилотного воздушного судна, без опорных точек значительно выше при стандартной обработке данных по сравнению с высокоточной. Погрешность проекта при применении пяти опорных точек выше в 3,9 раза для стандартной обработки данных. (*Выводы*) Показали, что с помощью наземных опорных точек можно повысить точность измерений в проекте, а также сравнить результаты его постобработки с измерениями на местности. Определили, что высокоточный мониторинг позволяет обойтись меньшим количеством наземных опорных точек. Выявили, что для получения данных с точностью 2-4 сантиметра в плане и по высоте при высокоточной постобработке нужно использовать не менее 3 наземных опорных точек. **Ключевые слова:** цифровое земледелие, дистанционное зондирование, беспилотное воздушное судно, наземные контрольные точки, опорные точки, высокоточная аэрофотосъемка.

Для цитирования: Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Горшков Д.М. Повышение точности аэрофотосъемки с применением наземных контрольных точек // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021. Т. 15. №4. С. 42-47. DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-42-47.

Improving the Accuracy of Aerial Photography Using Ground Control Points

Rashid K. Kurbanov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher;
Natalia I. Zakharova,
postgraduate student, junior researcher;

Dmitriy M. Gorshkov,
junior researcher,
e-mail: smedia@vim.ru

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Abstract. The authors showed that it is possible to quickly collect up-to-date information on the agricultural land condition using an unmanned aerial vehicle. It was noted that the use of ground control points increases the accuracy of project measurements, helps to compare the project post-processing results with the real measurements. (*Research purpose*) To compare the results of standard and high-precision post-processing of aerial survey data using ground control points. (*Materials and methods*) Aerial photography was carried out on a 1.1-hectare breeding field. The authors used DJI Matrice 200 v2 unmanned aerial vehicle with a GNSS L1/L2 receiver and a modified DJI X4S camera, five control points sized 50 × 50 centimeters and an EMLID Reach RS2 multi-frequency GNSS receiver. The results of scientific research into the use of ground control points during aerial photography

were studied. (*Results and discussion*) It was found out that the error of georeferencing images obtained by an unmanned aerial vehicle without control points is significantly higher during the standard data processing compared to the high-precision one. The project error when using five control points is 3.9 times higher during the standard data processing. (*Conclusions*) It was shown that using ground control points it is possible to improve the project measurement accuracy, as well as compare the project post-processing results with the measurements on the ground. It was detected that the high-precision monitoring enables the use of fewer ground control points. It was found out that in order to obtain data with the accuracy of 2–4 centimeters in plan and height, at least 3 ground control points need to be used during the high-precision post-processing.

Keywords: digital farming, remote sensing, unmanned aerial vehicle, ground control points, high-precision aerial photography.

For citation: Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Gorshkov D.M. Povyshenie tochnosti aerofotoseмки s primeneniem nazemnykh kontrol'nykh toчек [Improving the accuracy of aerial photography using ground control points]. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*. 2021. Vol. 15. N4. 42–47 (In Russian). DOI 10.22314/2073-7599-2021-15-4-42-47.

Беспилотные воздушные суда (БВС) представляют собой универсальный инструмент в цифровом сельском хозяйстве для оперативного сбора актуальной информации [1–5].

Технологический процесс мониторинга сельскохозяйственных угодий начинается со сбора данных с помощью БВС и навесного оборудования (мульти-спектральных, термальных и гиперспектральных камеры) [6–10]. Условно все операции можно разбить на 4 группы:

- сбор данных;
- конвертация и подготовка данных;
- обработка и дешифрация данных;
- создание рекомендаций.

Собранные данные подготавливаются к обработке и анализу, на основе которых формируются рекомендации.

Значительную роль в выработке рекомендаций играет точность измерений. Чтобы ее повысить, наземные контрольные или опорные точки (*GCP – Ground Control Points*) применяются как стандартная часть рабочего процесса постобработки [11]. Опорная точка – опознанная на снимке контурная точка объекта, координаты которой получены в результате геодезических измерений. В виде опорных точек целесообразно использовать мишени, их количество зависит от сложности и площади рельефа. Чем больше площадь и сложнее рельеф, тем больше опорных точек необходимо. Наземные контрольные точки размещают на поле перед осуществлением аэрофотосъемки. Они используются для повышения качества данных, получаемых после обработки, и для проведения оценки точности измерений [12–13].

Цель исследования – сравнение результатов стандартной и высокоточной постобработки проекта с наземными опорными точками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Исследование проводили на селекционном поле картофеля площадью 1,1 га в Федеральном исследовательском центре картофеля имени А.Г. Лорха.

В качестве платформы использовали квадрокоптер *DJI Matrice 200 v2* с установленным приемником

GNSS L1/L2 [14]. Дрон с пыле- и влагозащитой способен осуществлять полеты при скорости ветра до 20 м/с, что актуально при работе в поле на открытой местности [15–16].

Аппарат оснащен модифицированной камерой *DJI X4S 20Mp* (5472 × 3648) с трехосевым стабилизатором. Полеты осуществлялись с помощью мобильного приложения *DJI Pilot*.

Для получения высокоточных данных использовали мультичастотный *GNSS*-приемник *EMLID Reach RS2*. Подключение происходило к базовой станции *МСК-3*, расположенной на расстоянии менее 25 км (рис. 1).



Рис. 1. Платформенное решение для высокоточного мониторинга сельскохозяйственных полей (слева направо): беспилотное воздушное судно *DJI Matrice 200 v2* с *GNSS*-приемником, контрольная точка, мультичастотный *GNSS*-приемник *EMLID Reach RS2* на треноге

Fig. 1. Platform solution for agricultural field high-precision monitoring (from left to right): *DJI Matrice 200 v2* unmanned aerial vehicle with *GNSS* receiver, control point, *EMLID Reach RS2* multi-frequency *GNSS* receiver on a tripod

Для проверки точности данных использовали пять контрольных точек размером 50 × 50 см, расположенных с учетом перепадов высот (рис. 2) [17]. Их точные координаты зафиксированы с помощью мульти-

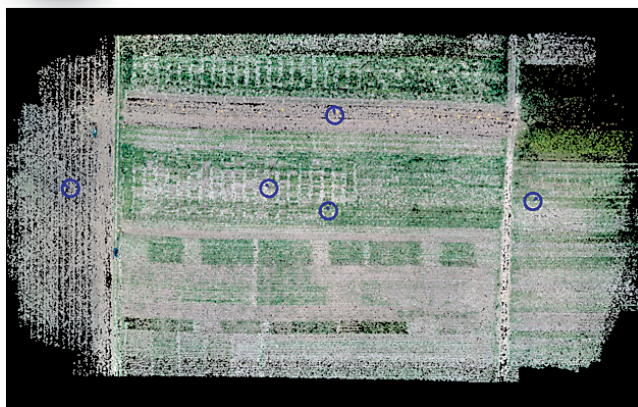


Рис. 2. Расположение опорных точек на карте
Fig. 2. The control points' location on the map

частотного геодезического приемника *EMLID Reach RS2* в режиме *Survey*. Все координаты записывались в соответствии с всемирной системой геодезических параметров Земли 1984 г. (*WGS 84*).

Фотограмметрическая обработка данных осуществлялась в программном обеспечении *Pix4D Mapper*. Для обработки *rgb*-данных использовали шаблон *3D Maps*.

Для обработки высокоточных данных задействовали программу *TopoSetter 2 pro*. Она учитывает высокоточные координаты, полученные с базовой станции и *GNSS*-антенны. *TopoSetter 2 pro* способна заменить навигационные координаты в *EXIF*-тегах изображений на высокоточные.

Каждая из опорных точек на этом этапе выступала в роли контрольной и была отмечена на серии фотографий, полученных с БВС. Отмечалась середина опорной точки, координаты которой были взяты с помощью *GNSS*-приемника (рис. 3).

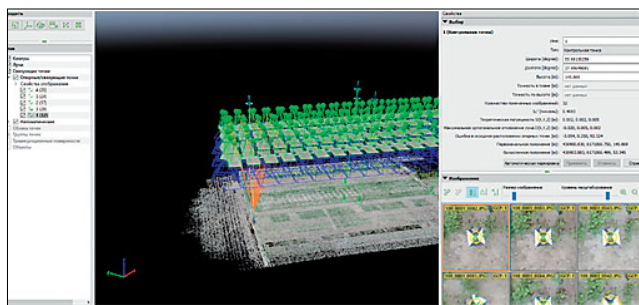


Рис. 3. Геопривязка изображений, полученных с беспилотного воздушного судна

Fig. 3. Georeferencing of images obtained by an unmanned aerial vehicle

Для оценки погрешности *RMSE* (*Root Mean Square Error*) по каждой из осей использовали среднеквадратичные ошибки $RMSE_x$, $RMSE_y$, $RMSE_z$ [18-19]:

$$RMSE_x = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (1)$$

$$RMSE_y = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (2)$$

$$RMSE_z = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}}{n}, \quad (3)$$

где n – количество опорных точек;

X_{oi} , Y_{oi} и Z_{oi} – координаты X , Y и Z , полученные после первичной аэотриангуляции;

X_{GNSSi} , Y_{GNSSi} и Z_{GNSSi} – координаты X , Y и Z , измененные с помощью *GNSS*-приемника в полевых условиях.

Для оценки погрешности всего проекта применили формулу среднеквадратичной ошибки $RMSE_p$ [20-21]:

$$RMSE_p = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_{oi} - X_{GNSSi})^2 + (Y_{oi} - Y_{GNSSi})^2 + (Z_{oi} - Z_{GNSSi})^2}}{n}. \quad (4)$$

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Мониторинг селекционного поля осуществляли на высоте 50 м. Собрали 158 фотографий видимого диапазона. Продольное и поперечное перекрытие установлено на 75%. Разрешение (*GSD* – *Ground Sampling Distance*) для ортофотоплана составило 1,4 см/пикс.

В программе *Pix4D Mapper* создали 12 проектов: по 0-5 опорных точек для высокоточной и стандартной обработки данных. Поскольку исследуемое поле имело прямоугольную форму, опорные точки расположили по краям и в центре (рис. 4) [22].

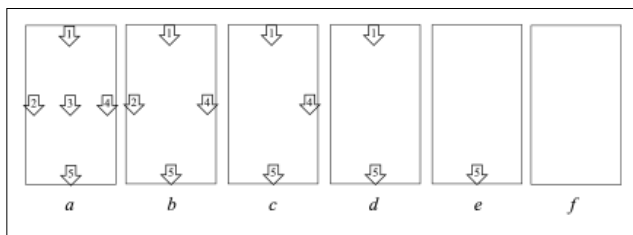


Рис. 4. Расположение опорных точек

Fig. 4. The control points' distribution

Погрешность геопривязки изображений, полученных с БВС без использования высокоточной постобработки, значительно выше. При использовании пяти опорных точек погрешность стандартной обработки выше по

Таблица		Table		
РЕЗУЛЬТАТЫ СТАНДАРТНОЙ/ВЫСОКОТОЧНОЙ ПОСТОБРАБОТКИ ПРОЕКТА С ОПОРНЫМИ ТОЧКАМИ				
RESULTS OF PROJECT STANDARD / HIGH-PRECISION POST-PROCESSING WITH CONTROL POINTS				
GCP Name	Error X[m]	Error Y[m]	Error Z [m]	
1	-0,090/0,000	0,021/0,001	0,098/-0,004	
2	0,053/0,018	-0,052/0,028	0,083/-0,010	
3	-0,094/0,002	0,064/0,003	0,059/0,000	
4	-0,056/-0,031	-0,058/0,033	0,024/0,023	
5	0,077/0,025	-0,084/0,003	-0,045/-0,008	
Mean, m	-0,022/0,003	-0,022/0,014	0,044/0,000	
Sigma, m	0,081/0,022	0,062/0,016	0,057/0,013	
RMS Error, m	0,076/0,020	0,059/0,019	0,067/0,012	

оси x в 3,8 раза, по оси y в 3,1 раза, по оси z в 5,6 раз (таблица).

Погрешность проекта при применении пяти опорных точек выше в 3,9 раза при стандартной обработке данных по сравнению с высокоточной. Без использования опорных точек точность проекта в плане и по высоте при стандартной обработке метровая, а при высокоточной – сантиметровая. При использовании 3 и более опорных точек средняя квадратичная ошибка проекта уменьшается (рис. 5).

Выводы. Применение наземных опорных точек позволяет повысить точность измерений в проекте, а также сравнить результаты постобработки проекта с реальными измерениями.

Высокоточный мониторинг дает возможность обойтись меньшим количеством наземных опорных точек. Для получения данных точностью 2-4 см в плане и по высоте (XYZ) при высокоточной постобработке нужно использовать не менее 3 наземных опорных точек.

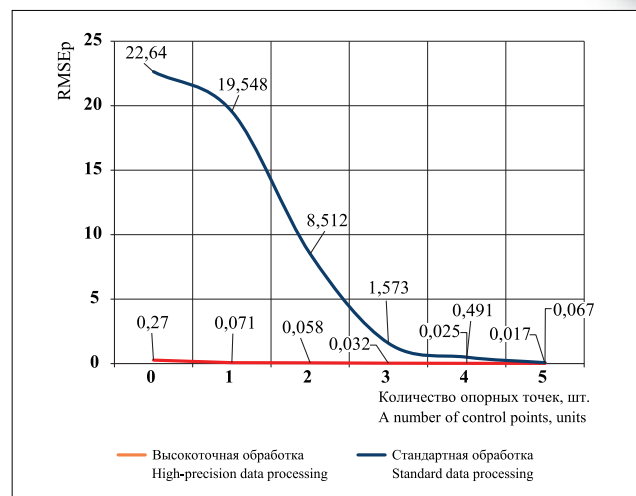


Рис. 5. Зависимость среднеквадратичной ошибки проекта от количества использованных наземных опорных точек

Fig. 5. Dependence of the project root mean square error on the number of the ground control points used

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Mogili U.R., Deepak B.V.V.L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509.
- Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Дорохов А.С., Сибирев А.В., Крючков В.А., Сазонов Н.В. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019 // *Тракторы и сельхозмашины*. 2017. N6. С. 28-40.
- Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*. 2019. N24(2). 152-164.
- Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Шогенов Ю.Х. Развитие интенсивных машинных технологий, роботизированной техники, эффективного энергообеспечения и цифровых систем в агропромышленном комплексе // *Техника и оборудование для села*. 2019. N6 (264). С. 2-9.
- Личман Г.И., Коротченя В.М., Смирнов И.Г., Курбанов Р.К. Концепция точного земледелия на основе понятий идеального поля и цифрового двойника // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. N67(3). С. 81-86.
- Курбанов Р.К., Костомахин М.Н., Захарова Н.И., Захарова О.М., Бабков С.В. Рекомендации для легких беспилотных летательных аппаратов по сбору данных // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N6. С. 47-53.
- Артюшин А.А., Курбанов Р.К., Марченко Л.А., Захарова О.М. Выбор типоразмерного ряда беспилотных летательных аппаратов и полезной нагрузки для мониторинга сельскохозяйственных полей // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N4 (37). С. 36-43.
- Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision viticulture. *Scientific Reports*. 2021. N11. 2721.
- Курбанов Р.К., Захарова Н.И., Гайдук О.М. Использование теплового канала (LWIR) для оценки состояния посевов и прогнозирования урожайности сельскохозяйственных культур // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. N67(3). С. 87-94.
- Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., Lagopodi A.L., Kashefi J., Kasampalis D., Kontouris G., Moshou D. Application of Multilayer Perceptron with Automatic Relevance Determination on Weed Mapping Using UAV Multispectral Imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307.
- Han X., Thomasson J.A., Xiang Y., Gharakhani H., Yadav P.K., Rooney W.L. Multifunctional Ground Control Points with a Wireless Network for Communication with a UAV. *Sensors*. 2019. N19(13). 2852.
- Pessoa G.G., Carrilho A.C., Miyoshi G.T. Assessment of UAV-based digital surface model and the effects of quantity and distribution of ground control points. *International Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 42. 65-83.
- Liu J., Xu W., Guo B., Zhou G., Zhu H. Accurate Mapping Method for UAV Photogrammetry Without Ground Control Points in the Map Projection Frame. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2021. 1-9.
- Курбанов Р.К., Захарова О.М. Рекомендации по предполетной подготовке БПЛА // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2020. Т. 67. N1(38). С. 93-98.
- Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. Vol. 10. 127-138.
- Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020. N43(2). 260-264.

17. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep/ Nizip. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178.
18. Martínez-Carricondo P., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 72. 1-10.
19. Ferrer-González E., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P. UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Dis-

- tribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*. 2020. N12.
20. Gómez-Candón D., De Castro A.I., López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle (UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*. 2014. N15(1). 44-56.
21. Kim J. S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55.
22. Santana L.S., Ferraz G.A.E.S., Marin D.B., Barbosa B.D.S., et al. Influence of flight altitude and control points in the georeferencing of images obtained by unmanned aerial vehicle. *European Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 54. Iss. 1. 59-71.

REFERENCES

1. Mogili U.R., Deepak B.B.V.L. Review on application of drone systems in precision agriculture. *Procedia Computer Science*. 2018. N133. 502-509 (In English).
2. Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Dorokhov A.S., Sibirev A.V., Kryuchkov V.A., Sazonov N.V. Sovremennye tekhnologii i tekhnika dlya sel'skogo hozyaystva – tendentsii vystavki Agritechnika 2019 [Modern agriculture technologies and equipment - trends of an Agritechnika 2019 exhibition]. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017. N6. 28-40 (In Russian).
3. Maes W.H., Steppe K. Perspectives for remote sensing with unmanned aerial vehicles in precision agriculture. *Trends in Plant Science*. 2019. N24(2). 152-164 (In English).
4. Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Lobachevskiy Ya.P., Shogenev Yu.Kh. Razvitiye intensivnykh mashinnykh tekhnologiy, robotizirovannoy tekhniki, effektivnogo energoobespecheniya i tsifrovyykh sistem v agropromyshlennom komplekse [Development of intensive machine technologies, robotic technology, efficient energy supply and digital systems in the agribusiness]. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. 2019. N6(264). 2-9 (In Russian).
5. Lichman G.I., Korotchenya V.M., Smirnov I.G., Kurbanov R.K. Konceptsiya tochnogo zemledeliya na osnove ponyatiy ideal'nogo polya i tsifrovogo dvoynika [A concept of precision farming based on the notions of the ideal field and digital twin]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. N67(3). 81-86 (In Russian).
6. Kurbanov R.K., Kostomakhin M.N., Zakharova N.I., Zakharova O.M., Babkov S.V. Rekomendatsii dlya legkikh bespilotnykh letatel'nykh apparatov po sboru dannykh [Recommendations for light unmanned aerial vehicles for data collection]. *Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont*. 2018. N6. 47-53 (In Russian).
7. Artyushin A.A., Kurbanov R.K., Marchenko L.A., Zakharova O.M. Vybortiporazmernogo ryada bespilotnykh letatel'nykh apparatov i poleznoy nagruzki dlya monitoringa sel'skokhozyaystvennykh poley [The choice of a standard series of unmanned aerial vehicles and payload for monitoring agricultural fields]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2019. N4(37). 36-43 (In Russian).
8. Matese A., Di Gennaro S.F. Beyond the traditional NDVI index as a key factor to mainstream the use of UAV in precision

- viticulture. *Scientific Reports*. 2021. N11. 2721 (In English).
9. Kurbanov R.K., Zakharova N.I., Gayduk O.M. Ispol'zovaniye teplovogo kanala (LWIR) dlya otsenki sostoyaniya posevov i prognozirovaniya urozhaynosti sel'skokhozyaystvennykh kul'tur [Using a thermal channel (LWIR) to assess crop conditions and predict crop yields]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. N67(3). 87-94 (In Russian).
10. Tamouridou A.A., Alexandridis T.K., Pantazi X.E., Lagopodi A.L., Kashefi J., Kasampalis D., Kontouris G., Moshou D. Application of Multilayer Perceptron with Automatic Relevance Determination on Weed Mapping Using UAV Multispectral Imagery. *Sensors*. 2017. N17. 2307 (In English).
11. Han X., Thomasson J.A., Xiang Y., Gharakhani H., Yadav P.K., Rooney W.L. Multifunctional Ground Control Points with a Wireless Network for Communication with a UAV. *Sensors*. 2019. N19(13). 2852 (In English).
12. Pessoa G.G., Carrilho A.C., Miyoshi G.T. Assessment of UAV-based digital surface model and the effects of quantity and distribution of ground control points. *International Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 42. 65-83 (In English).
13. Liu J., Xu W., Guo B., Zhou G., Zhu H. Accurate Mapping Method for UAV Photogrammetry Without Ground Control Points in the Map Projection Frame. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2021. 1-9 (In English).
14. Kurbanov R.K., Zakharova O.M. Rekomendatsii po predpoletnoy podgotovke BPLA [Recommendations for uav pre-flight preparation]. *Elektrotekhnologii i elektrooborudovanie v APK*. 2020. Vol. 67. N1(38). 93-98 (In Russian).
15. Daugela I., Visockiene J.S., Kumpiene J. Detection and analysis of methane emissions from a landfill using unmanned aerial drone systems and semiconductor sensors. *Detritus*. 2020. Vol. 10. 127-138 (In English).
16. Beranek C.T., Roff A., Denholm B., Howell L.G., Witt R.R. Trialling a real-time drone detection and validation protocol for the koala (*Phascolarctos cinereus*). *Australian Mammalogy*. 2020. N43(2). 260-264 (In English).
17. Kapicioglu H.S., Hastaoglu K.O., Poyraz F., Gül Y. Investigation of topographic effect in ground control point selection in UAV photogrammetry: Gaziantep/ Nizip. *International conference on innovative engineering applications*. 2018. 1174-1178 (In English).



18. Martínez-Carricondo P., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F. Assessment of UAV-photogrammetric mapping accuracy based on variation of ground control points. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 2018. Vol. 72. 1-10 (In English).

19. Ferrer-González E., Agüera-Vega F., Carvajal-Ramírez F., Martínez-Carricondo P. UAV Photogrammetry Accuracy Assessment for Corridor Mapping Based on the Number and Distribution of Ground Control Points. *Remote Sensing*. 2020. N12 (In English).

20. Gómez-Candón D., De Castro A.I., López-Granados F. Assessing the accuracy of mosaics from unmanned aerial vehicle

(UAV) imagery for precision agriculture purposes in wheat. *Precision Agriculture*. 2014. N15(1). 44-56 (In English).

21. Kim J. S., Hong Y. Accuracy Analysis of Photogrammetry Based on the Layout of Ground Control Points Using UAV. *Journal of the Korean Cartographic Association*. 2020. N20(2). 41-55 (In English).

22. Santana L.S., Ferraz G.A.E.S., Marin D.B., Barbosa B.D.S., et al. Influence of flight altitude and control points in the georeferencing of images obtained by unmanned aerial vehicle. *European Journal of Remote Sensing*. 2021. Vol. 54. Iss. 1. 59-71 (In English).

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests.

The authors declare no conflicts of interest.

Заявленный вклад соавторов:

Курбанов Р.К. – научное руководство, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи.

Захарова Н.И. – обработка данных аэрофотосъемки, составление начального варианта статьи, анализ и обобщение данных литературы.

Горшков Д.Г. – обработка данных аэрофотосъемки, литературный анализ, работа с графическим материалом, доработка текста.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Coauthors' contribution:

Kurbanov R.K. – scientific guidance, developing general conclusions, article proofreading.

Zakharova N.I. – aerial photography data processing, preparing the article draft, literature analysis

Gorshkov D.M. – aerial photography data processing, literature analysis, work with graphic material, text revision

All authors have read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

16.09.2021
25.11.2021