

Создание маркшейдерского обоснования для аэрофотосъемок на открытых разработках с применением БПЛА

Е. Н. Хмырова², М. С. Тутанова^{1}, Д. Токар²*

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, г. Караганда, Республика Казахстан

* e-mail: mikochkat1984@mail.ru

Аннотация. Для оценки состояния прибортового массива на месторождении «Аксу» с 2018 г. ведется мониторинг земной поверхности. Территория горнотехнических объектов месторождения «Аксу» характеризуется различной степенью сложности рельефа и разнообразием структуры слагающих горных пород. На первом этапе по выявлению активных деформаций на исследуемом объекте был организован инструментальный геодезический мониторинг по наблюдательным профильным линиям, расположенным в зоне движений земной поверхности. По результатам мониторинга была выполнена оценка состояния прибортового массива месторождения и принято решение о систематических наблюдениях за движением земной поверхности с применением цифровой аэрофотосъемки. На исследуемом участке разработана программа деформационного мониторинга, включающая проект создания геометрической схемы опознаков, и определена зона возможных и существующих деформаций. Аэрофотосъемка выполнялась с помощью БПЛА с периодичностью через каждые полгода, начиная с 2020 г. По результатам аэрофотосъемки получены локальные зоны новых деформаций на земной поверхности, вследствие подработки горными подземными работами на руднике «Аксу». Мониторинг продолжается, следующий залет аэрофотосъемочных работ планируется в мае-июне 2022 г.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, профильная линия, зона деформаций, аэрофотосъемка, опознаки

Creation of control network for aerial surveys in open-pit workings using UAV

E. N. Khmyrova², M. S. Tutanova^{1}, D. Tokar²*

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

² Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

* e-mail: mikochkat1984@mail.ru

Abstract. To assess the condition of the instrument array at the Aksu field, the earth's surface has been monitored since 2018. The territory of the mining and technical facilities of the Aksu deposit is characterized by a varying degree of complexity of the relief and a variety of the structure of the composing rocks. At the first stage, instrumental geodetic monitoring was organized to identify active deformations on the object under study using observation profile lines located in the zone of Earth surface movements. Based on the monitoring results, an assessment of the condition of the instrument array of the deposit was carried out and decisions were made on systematic observations of the movement of the Earth's surface using digital aerial photography. A deformation monitoring program has been developed at the site under study, including a project for creating a geometric pattern of signs and a zone of possible and existing deformations has been determined. Aerial photography was

carried out with the help of UAVs at intervals every half a year starting in 2020. According to the results of aerial survey, local zones of new deformations on the earth's surface were obtained, as a result of mining underground work at the Aksu mine. Monitoring continues, the next flight of aerial photography is planned for May-June 2022.

Keywords: geodetic monitoring, profile line, deformation zone, aerial photography, identification

Введение

Обеспечение безопасности ведения горных работ при разработке месторождений полезных ископаемых (МПИ) является обязательным требованием инструкции, соблюдение которой позволяет получить высокие технико-экономические показатели эффективности горнодобывающего производства. При разработке рудных тел на месторождения «Аксу» на протяжении 9 лет производился мониторинг деформаций земной поверхности и горнотехнических объектов с использованием традиционных электронно-оптических тахеометров и спутниковых GNSS технологий по классическим маркшейдерско-геодезическим методикам, включая и перспективное направление с применением аэрофотосъемки. Аэрофотосъемка территории исследуемого объекта на месторождении «Аксу» выполнена беспилотным летательным аппаратом (БПЛА) БВС «Supercam S350F». БПЛА «Supercam S350F» предназначен для выполнения панорамной и плановой аэрофотосъемки, видеосъемки и других инженерно-геодезических задач для изображения объекта в виде трехмерной модели.

Работы по созданию топографического плана объекта выполнялись по следующей технологической схеме:

- подготовительные работы;
- планово-высотная привязка аэрофотосъемки;
- аэрофотосъемка с использованием БПЛА;
- камеральная обработка аэрофотоснимков;
- создание облака точек и цифрового ортофотоплана.

Этап подготовительных работ заключался в получении разрешительных документов.

Перед началом аэросъемочных работ, согласно «Правилам» регистрации, учета и выдачи разрешений на проведение аэросъемочных работ, получено разрешение уполномоченного органа на проведение АФС, согласованное с Министерством обороны РК и Комитетом национальной безопасности РК. В Комитете гражданской авиации Министерства по инвестициям и развитию РК была утверждена схема полетов БПЛА над объектом.

Методы и материалы

Перед началом аэрофотосъемки создавался проект полета и расчет параметров аэрофотосъемки с учетом высоты полета 300–400 м исследуемого объекта на месторождении «Аксу», который разработан в специализированной Shuttle Radar Topography Mission. Указанная программа использовалась при производстве электронной карты масштаба 1 : 100 000. С помощью географической привязки и результатов, полученных с БПЛА, имеющего цифровую камеру SONY Alpha

R1x1 с полнокадровой матрицей SMOS 24 МП и фокусом $f = 35$ мм, создавалась цифровая модель исследуемого участка.

План полета разработан в соответствии с условиями работ, техническим заданием заказчика и параметрами аэрофотосъемки. На этапе подготовительных работ выполнялись следующие работы:

- изучение имеющихся материалов прошлых лет;
- анализ требований инструкции при проведении аэрофотосъемочных работ и получении результатов;
- определение границ аэрофотосъемки и перекрытия снимков;
- анализ точности определения координат центров фотографирования, координат центров опознаков и базовых пунктов геодезической сети [1];
- формирование состава исполнителей для полевых и камеральных работ с помощью БПЛА.

В соответствии с разработанным проектом полевых аэрофотосъемочных работ выбиралось положение стартовой площадки (рис. 1), устанавливалось требуемое разрешение и перекрытие снимков, после чего автоматизированная программа рассчитывала план полета и проверялась его выполнимость.



Рис. 1. Запуск БПЛА со стартовой площадки

Установка и маркировка опорных и контрольных точек конструкции (рис. 2) производится перед выполнением аэрофотосъемочных работ с коротким интервалом времени между съемкой.

На объекте месторождения «Аксу» (рис. 3) было установлено 25 марок, которые располагались так, чтобы изображения других объектов промплощадки или их тени не попадали в зону аэрофотоснимков исследуемого участка месторождения.

В процессе выполнения полевых аэрофотосъемочных работ управление БПЛА осуществлялось как в ручном, так и в автоматическом, наблюдатель постоянно следил за движением аппарата, а также за изменением скорости ветра и другими погодными условиями в районе полетов. Телеметрическая информация оценивалась в автоматическом режиме на мониторе ноутбука (траектория полета, высота, скорость полета и ветра, температура окружающего воздуха, влаж-

ность, расход энергии и т.д.). С учетом конфигурации участка съемки, рассчитанных параметров аэрофотосъемки проложены маршруты (рис. 4).



Рис. 2. Конструкция марки

Перед аэрофотосъемкой при создании планов масштаба 1000/0.5м для последующего координирования облака точек и 3D модели была предусмотрена маркировка точек – опознаков, координаты которых определялись вовремя полета с помощью GPS-навигатора и отдельно с помощью приемников GPS Topcon GR5 в статическом режиме. Аэрофотосъемка выполнена в безветренную благоприятную погоду.

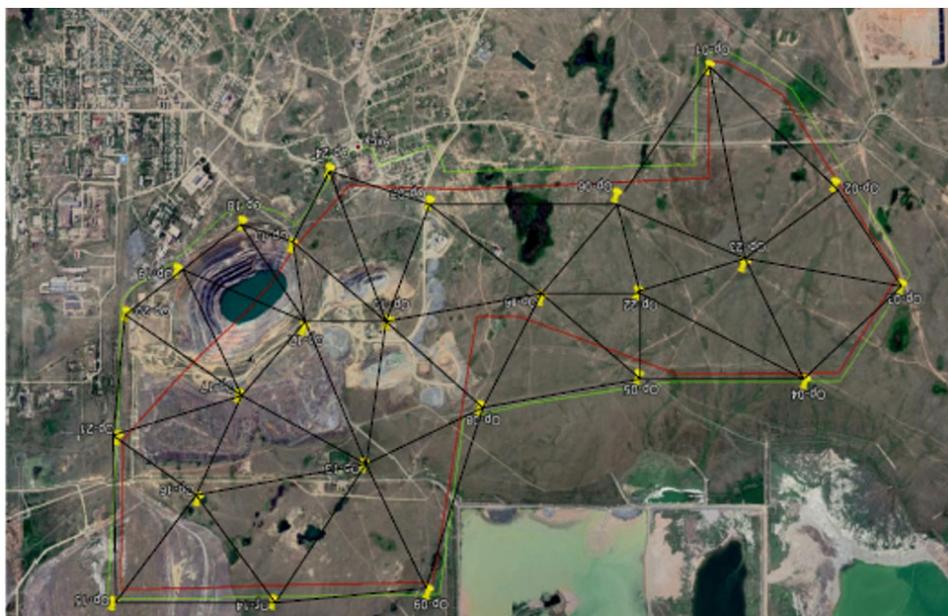


Рис. 3. Схема опознавательных знаков

После выполнения полевых работ, проводился перенос данных в наземную цифровую фотограмметрическую станцию и вычисление координат центров

проекции, необходимых для дальнейшей фотограмметрической обработки. Камеральная обработка данных аэрофотосъемки производилась в программном обеспечении Jastin [2].



Рис. 4. Схема полетного задания

Для построения цифровой модели рельефа (рис. 5), и создание ортофотоплана (рис. 6) применялась автоматизированная программа Pix 4D Mapper с построением триангуляционной сети и ее уравнивание. Программа позволяет производить построение и уравнивание геодезических сетей методом фототриангуляции в автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах.

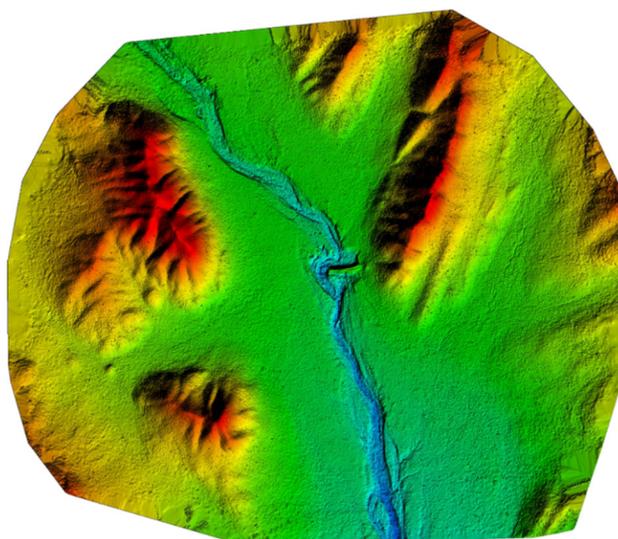


Рис. 5. Цифровая модель рельефа

Фототриангуляционная сеть при уравнивании производилась с включением пунктов государственной сети, опорных пунктов и контрольных марок [4].



Рис. 6. Ортофотоплан исследуемого объекта земной поверхности месторождения «Аксу»

Результаты и выводы

Результатами, полученными по завершению аэрофотосъемочных работ, являются:

- цифровые ортофотопланы;
- цифровая модель рельефа (ЦМР).

Для создания цифрового топографического плана по результатам съемки с применением БПЛА масштаба 1 : 1000 используют ортофотоплан и ЦМР. Производство топографического плана включает следующие виды работ:

- анализ архивных и исходных данных исследуемого участка месторождения;
- оцифровка исходного топоплана масштаба 1 : 1000;
- создание векторной модели контуров по результатам съемки;
- редактирование отметок высот рельефа;
- анализ положения контуров и рельефа по векторной модели;
- объединение и совмещение данных цифровых моделей [3].

В качестве исходного материала для создания ЦТП были использованы топопланы месторождения «Аксу», ортофотопланы, созданные по результатам последней съемки с последующей обработкой по материалам цифровой аэро-съемки БПЛА.

Для получения векторной модели рельефа ЦМР была преобразована в форму 3D и 2D изображения для решения горно-технических задач и обеспечения безопасной работы предприятия рудника «Аксу».

Для получения ЦТП векторная модель контуров совмещается с векторной моделью рельефа. На созданный ЦТП по координатам нанесли пункты ГГС и нивелирные знаки, при этом были согласованы отметки высот с горизонталями.

Анализируя результаты двух циклов аэрофотосъемочного мониторинга, получены данные по определению локальных зон деформаций земной поверхности, скорость оседания в максимальных точках составляет 25 мм/год.

Ранее по результатам инструментальных наблюдений по составленным ведомостям сдвижений и деформаций относительно 2011 г. по каждой профильной линии были выявлены максимальные вертикальные сдвигения (оседания), горизонтальные сдвигения и деформации (растяжение и сжатие)

Максимальное вертикальное сдвигение составляло (-) 12,9 мм, максимальное горизонтальное сдвигение в зоне активных деформаций (-) 1,9 мм.

Изменения положения рабочих реперов в плане и по высоте по всем профильным линиям за период с 2011 по 2021 г. произошли в местах обрушения земной поверхности вследствие ведения горных работ.

Так как по результатам инструментального контроля по профильным линиям были выявлены большие деформации, и процесс сдвигения подработанной земной поверхности не прекращается, было принято решение применять аэрофотосъемку для наблюдений всей территории в пределах горного отвода рудника Аксу. По результатам двух циклов аэрофотосъемки выявлены локальные деформации.

Вывод: для выявления зон возможных деформаций следует продолжить наблюдения с помощью аэрофотосъемочного мониторинга не реже 2 раз в год [4].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000 – 1:500, Астана 2007 г;
2. Инструкция по развитию съемочного обоснования и съемке ситуации и рельефа с применением глобальных навигационных спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС, Астана 2008 г.
3. Хлебникова А.Х., Опритова А.О., Сымбат М.А. Экспериментальные исследования точности построения фотограмметрической модели по материалам БПЛА //Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр., 23–27 апреля 2018 г., Новосибирск : сб. материалов в 2 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 32–37.
4. Технический отчет о провидении аэрофотосъемочных работах месторождения ДНК Донского ГОКа.

© Е. Н. Хмырова, М. С. Тутанова, Д. Токарь, 2022