

УДК 528.481:622.83

DOI:10.33764/2411-1759-2021-26-2-28-36

ИССЛЕДОВАНИЕ РАЗВИТИЯ КОНТУРА ПРОВАЛА В РАЙОНЕ ГОРЫ БУЛАНЖЕ

Виктор Семенович Писарев

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-18-53, e-mail: viktor@ssga.ru

Актуальность исследования заключается в разработке методики мониторинга техногенных природных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов. Таштагольское железорудное месторождение расположено на юге Кемеровской области в Горной Шории, отрабатывается подземным способом. Разработка запасов юго-восточного участка ведется с 2004 г. Таштагольским филиалом ОАО «Евразруда». Особенностью отработки запасов юго-восточного участка является эксплуатация охраняемых объектов в пределах потенциальной зоны опасных сдвижений, в результате чего в ноябре 2017 г. произошло образование провала в районе горы Буланже. Целью работы является описание методики мониторинга определения геометрических размеров провала в разные периоды времени с помощью беспилотного летательного аппарата. Мониторинг за развитием провала ведется с 2018 г. В результате данного исследования определены геометрические размеры провала в разные периоды наблюдений и вычислена средняя динамика увеличения провала в год.

Ключевые слова: Таштагольское месторождение, гора Буланже, провал, беспилотные летательные аппараты, квадрокоптер, ГНСС, тахеометр

Введение

В современном мире резко повысились значимость и роль геопространственных данных, технологий и систем в экономике и жизнедеятельности населения [1]. Поэтому любое горное производство на всех этапах функционирования сопровождается созданием актуальных и постоянно обновляемых трехмерных моделей.

Цифровая трехмерная модель часто используется в качестве источника данных для измерений. В этом случае она обладает метрическими и топологическими свойствами, которые выражают особенности связей ее структурных элементов. Такие модели называют метрическими. С точки зрения визуализации метрические трехмерные модели могут иметь привлекательный внешний вид или обладать какими-либо функциональными возможностями, важными для определенной сферы производства [2].

Таштагольское месторождение расположено на юге Кемеровской области, в Горной Шории, отрабатывается подземным способом. Месторождение вскрыто до горизонта –350 м

(отметка поверхности +450 м). Глубина отработки – 800 м. Рудная зона по простиранию протягивается в виде полосы длиной 7,5 км сильно сжатой дугообразной формы залежи, в которой последовательно с запада на восток располагаются рудные участки. Она приурочена к карбонатам – содержащим породам рудной подсвиты мундыбашской свиты и локализована между гребневыми выступами сиенитового акмолита. Рудные тела залегают среди скарнов, метасоматитов, сиенитов, метаморфических сланцев, секутся дайками микросиенитов, диоритов, диоритовых порфиритов. Простирание рудных тел изменчивое, а падение крутое (60–90°). Форма их штокообразная, столбообразная. Длина рудных тел по простиранию на разных участках изменчива и колеблется в пределах 110–690 м, по падению 190–1 440 м. Наиболее крупные рудные тела расположены на восточном участке. Рудные тела сложены магнетитом темно-серого цвета тонко-мелкозернистой структуры. Обычно это однородные, плотные массивные, массивно-полосчатые разности с гнездами хлорит-эпидот-гранатового состава. По минералогическому составу руды преимущественно

магнетитовые, реже сульфидно-магнетитовые и гематит-магнетитовые.

Разработка запасов юго-восточного участка начата в 2004 г. Таштагольским филиалом ОАО «Евразруда». Особенностью отработки запасов юго-восточного участка является эксплуатации охраняемых объектов в пределах потенциальной зоны опасных сдвижений. На начало ведения работ на поверхности были расположены горнолыжный подъемник (канатная дорога), трасса слалома. Особенностью отработки запасов юго-восточного участка является не только необходимость обеспечения безопасного ведения горных работ, но и требование устойчивой эксплуатации охраняемых объектов в пределах потенциальной зоны опасных сдвижений [3].

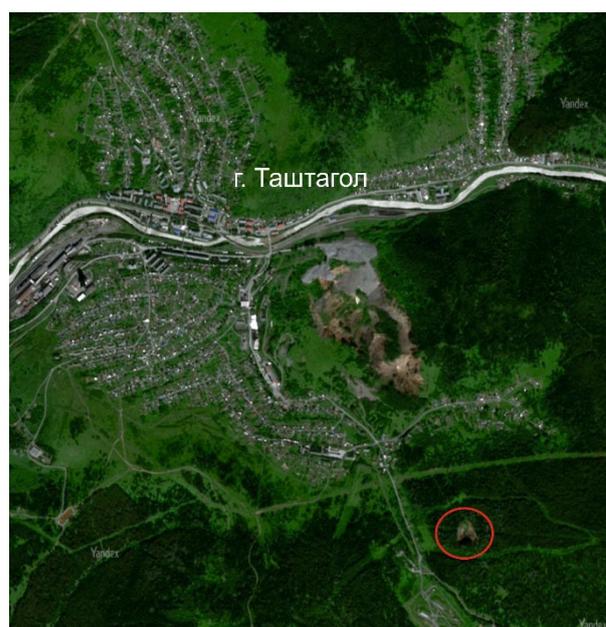
В процессе отработки участка при уточнении параметров выработанного пространства расчеты устойчивости обнажений периодически повторялись. Усовершенствована также методика оценки устойчивости [4, 5], согласно которой было получено предельно устойчивое состояние обнажений. В связи с этим принято решение о закрытии горнолыжной трассы.

Инструментальные наблюдения за сдвижением земной поверхности юго-восточного участка проводятся ежегодно с 2003 г. по профильной линии грунтовых реперов, заложенной вдоль трассы подъемника в пределах зоны возможного опасного влияния горных разработок [3].

Так, на земной поверхности юго-восточного участка в 2016 г. наблюдались оседания до 42 мм и прямые горизонтальные сдвижения, отражающие растяжение налегающей толщи до 156 мм, в то время как предыдущими наблюдениями зафиксированы поднятия до 160 мм и обратные сдвижения до 214 мм. В результате деформирования пород в 2016 г. несколько снизились аномальные сдвижения, зафиксированные в 2015 г., но в 2017 г. уровень напряженности горных пород участка снова увеличился [3].

Предположительно 9 ноября 2017 г. произошло образование провала по трассе горнолыжного подъемника. На тот момент сейсмостанцией Таштагольской шахты было зафиксировано значительное количество низкочастотных событий, которые рассматриваются как обру-

шения. Маркшейдерским отделом шахты была выполнена съемка поверхности в районе провала. Глубина воронки с северной стороны доходила до 10–15 м, а с южной – до 30 м, в горизонтальной плоскости размеры воронки составили 110 × 130 м. С ноября 2017 г. по сентябрь 2018 г. размеры провала в плане практически не изменились, что зафиксировано инструментальными наблюдениями, в то же время заметно увеличилась глубина провала. Месторасположение провала показано на рис. 1.



○ – место провала

Рис. 1. Место провала

С апреля 2018 г. начались первые наблюдения с помощью беспилотного летательного аппарата (БПЛА).

Одной из целей данного исследования является разработка методики определения геометрических размеров провала с использованием беспилотного летательного аппарата, а также установление динамики развития контура данного провала.

Основная часть

Основная причина образования провала – это проведение добычных работ на данном участке. Такая проблема актуальна для многих объектов недропользования, как открытых (карьеры), так и закрытых (шахты по

извлечению руды, добыча нефти и газа). Таким образом, исследование геодинамики решает актуальные научные и практические задачи [6]. Особенно интенсивно геомеханические явления и процессы происходят в местах активной разработки полезных ископаемых по причине интенсивных техногенных воздействий на приповерхностный слой Земли [7].

На территории провала была заложена сеть пунктов, которые использовались в качестве опорных для дальнейшей привязки аэрофотоснимков в соответствии с инструкцией по производству маркшейдерских работ [8]. Координаты пунктов определялись спутниковыми измерениями ГНСС-приемниками Trimble R8 с дальнейшей постобработкой. Для достижения высокой точности спутниковых измерений необходимо использовать относительный метод определения координат [9]. Этот метод основан на измерении направленного отрезка (вектора) между фазовыми центрами антенн двух приемников на основе набора сигналов, принятых от одного и того же набора спутников в течение интервала наблюдений [10].

Из-за высокой залесенности территории координаты некоторых пунктов невозможно было определить спутниковыми измерениями,

поэтому они определялись электронным тахеометром Leica.

В качестве пунктов планово-высотного обоснования использованы стальные кольца длиной около 80 см и диаметром 20 мм. Глубина закладки составляла около 60–70 см. Всего заложен 21 пункт. Схема расположения пунктов приведена на рис. 2.

Аэрофотосъемка провала и прилегающей территории производилась с квадрокоптера DJI Phantom IV PRO.

Аэрофотосъемка – комплекс работ по построению топографических карт, планов и цифровых моделей территорий с применением материалов, полученных с помощью фотокамер, расположенных на борту летательного аппарата.

За последние несколько лет БПЛА стали технически совершенными и доступными по цене, они нашли полноценное применение в геодезическом сопровождении на предприятиях по открытой добыче полезных ископаемых. БПЛА оснащены цифровыми камерами для получения аэрофотоснимков высокого разрешения, которые затем обрабатываются и в результате чего создаются высокоточные ортофотоснимки, с последующим получением по ним облаков точек и построения 3D-моделей [11].

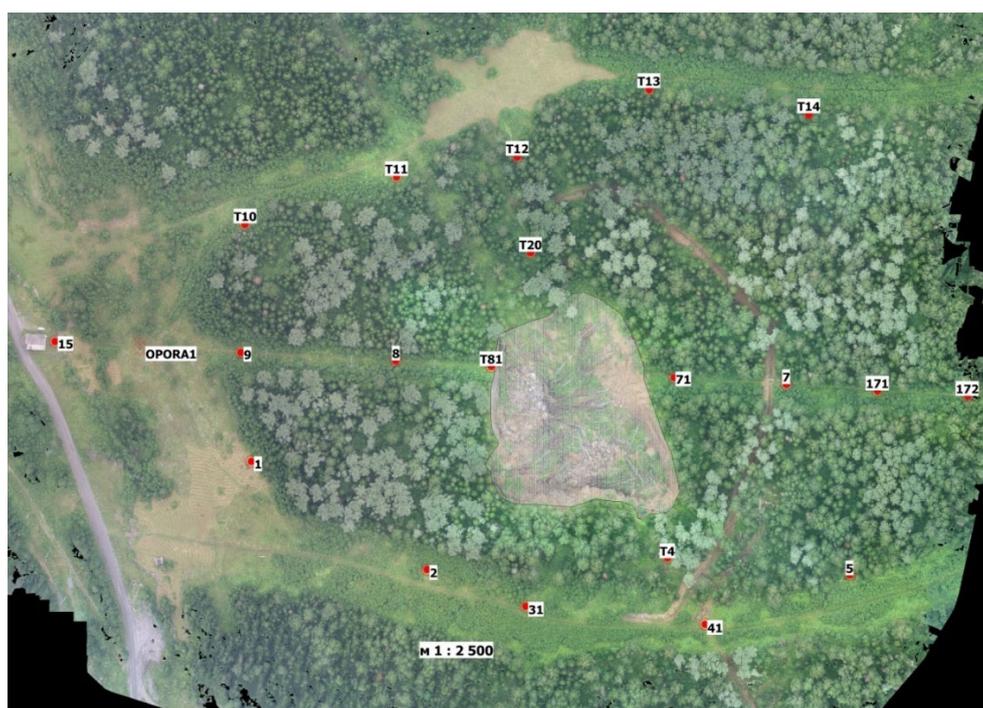


Рис. 2. Схема расположения пунктов

В результате проведенных полевых работ нами была разработана технологическая схема создания цифровой модели местности на исследуемую территорию, которая показана на рис. 3.

Процесс аэрофотосъемки с применением беспилотных летательных аппаратов включает три этапа: подготовительный, полевой (съемочные работы) и постобработка собранных данных.

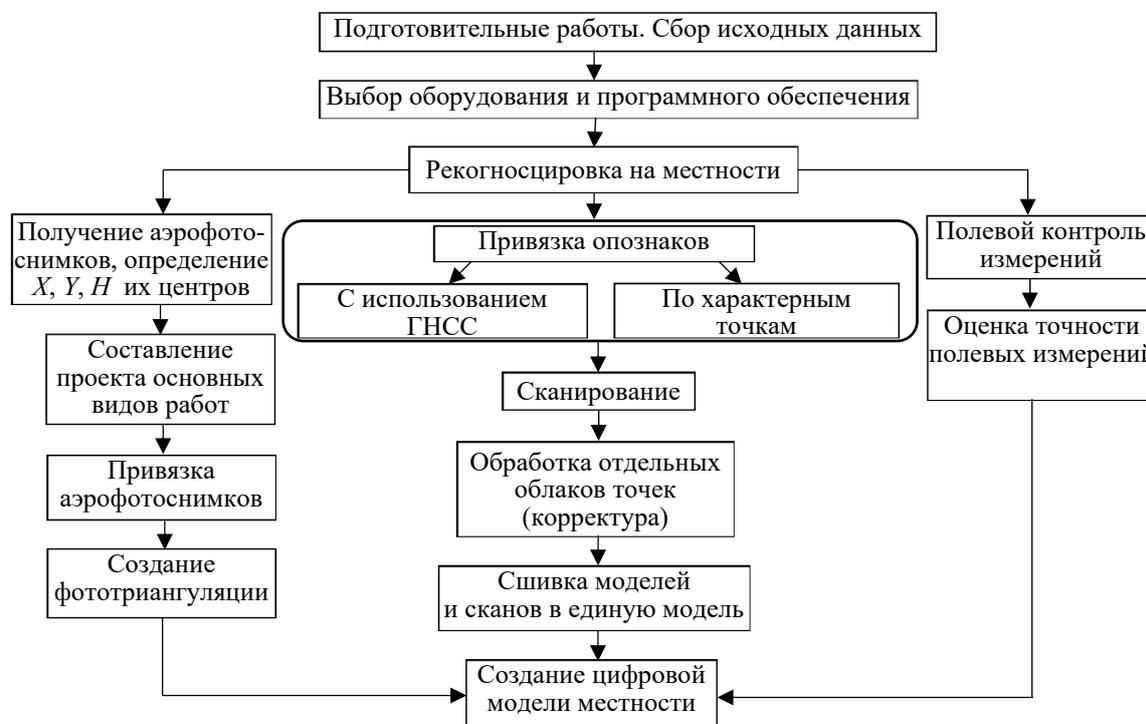


Рис. 3. Технологическая схема создания цифровой модели местности

Высота фотографирования составляла в среднем около 100 м от точки взлета, фокусное расстояние камеры 3,61 мм. Маршрут полета планировался заранее с величиной продольного перекрытия 80 %, поперечного перекрытия – 70 %, для того чтобы параллельные маршруты и перекрывающиеся изображения смогли охватить всю территорию провала и прилегающей территории [12].

У каждого снимка определялись и записывались атрибуты Lat [Y] (градусы широты), Long [X] (градусы долготы) и Altitude [Z] (высота) [13].

Аэрофотосъемочные работы проводились в разные временные периоды.

Первая аэрофотосъемка территории провала была выполнена в апреле 2018 г. В результате аэрофотосъемки, состоящей из 20 маршрутов, получено около 140 цифровых изображений с пространственным разрешением 5,39 см/пикс.

Обработка результатов аэрофотосъемочных работ выполнялась в камеральных условиях с использованием программы Agisoft Metashape. Создание цифровой модели и привязка результатов съемки к пунктам на местности проходили в три этапа:

- создание грубой модели. На данном этапе на перекрывающихся снимках выполняется автоматическое определение связующих точек, восстановление проектирующих лучей, вычисление координат центров фотографирования и элементов взаимного ориентирования снимков, расчет параметров, которые описывают оптическую систему (дисторсия, коэффициент асимметрии, положение центральной точки);
- привязка полученной модели к внешней (геодезической, географической) системе координат и уравнивание всех параметров системы – координат центров фотографирования и наземных опорных точек, углов ориентирования снимков, параметров оптической системы

с применением параметрического метода уравнивания. В роли весовых коэффициентов для уравнивания выступают погрешности измерения координат точек съемки (центров фотографирования), определения координат точек наземной опорной сети, дешифрирования и маркирования опорных точек на аэрофотоснимках;

– построение полигональной модели поверхности местности по результатам определенных на предыдущем этапе параметров [13].

Затем полученная модель используется для генерации ортофотопланов и матриц высот. Фотограмметрическое облако содержало достаточное количество точек класса «земля», на основе которого выполнялось постро-

ение цифровой модели провала, по которому были определены его геометрические размеры.

Фрагмент ортофотоплана, полученный по результатам аэрофотосъемки в апреле 2018 г., приведен на рис. 4.

Последующие аэрофотосъемочные работы проводились в летне-осенний период 2019 г. и осенью 2020 г. На рис. 5 приведен фрагмент ортофотоплана, полученный по материалам полевых работ 2020 г.

В результате анализа полученных данных по материалам аэрофотосъемки были определены геометрические размеры провала, представленные в табл. 1.

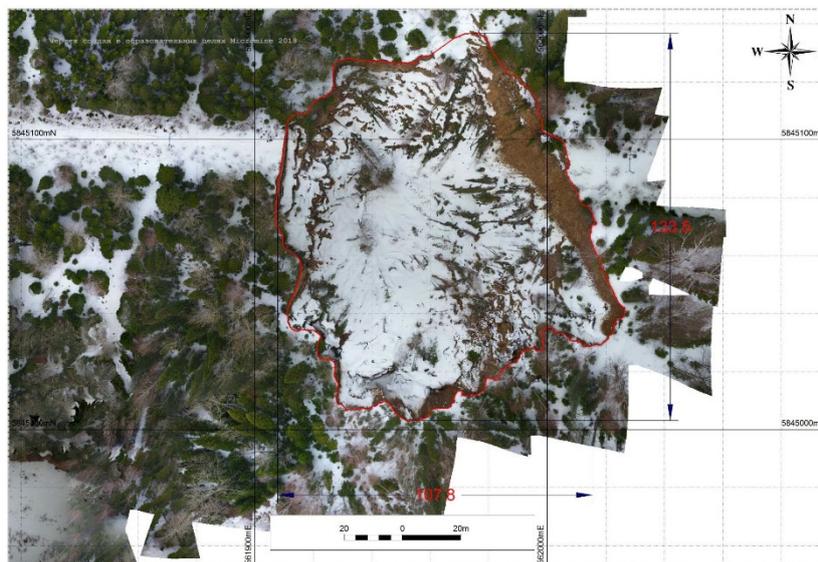


Рис. 4. Ортофотоплан провала, апрель 2018 г.



Рис. 5. Ортофотоплан провала, сентябрь 2020 г.

Таблица 1

Геометрические размеры провала на горе Буланже

Дата съемки	Размеры по широте, м	Размеры по долготе, м	Площадь, кв. м	Периметр, м
26.04.2018	133	108	10 772	457
12.07.2019	135	111	13 549	489
26.08.2019	136	114	13 564	495
12.10.2019	138	115	13 619	509
05.09.2020	140	116	14 010	520

На рис. 6 приведен график, отображающий динамику развития провала, с указанием площади провала в квадратных метрах – левый вертикальный столбец – и периметра провала, указанный в метрах, – правый вертикальный столбец.

В горизонтальной плоскости приведены даты полевых измерений.

Таким образом произведена систематизация геометрических измерений и вычис-

лен прирост геометрических размеров провала, который приведен в табл. 2. Началом отчета исследований является дата 26.04.2018, когда первый раз были произведены работы по определению геометрических размеров провала. Эта дата взята за условный нуль и от него произведены вычисления, показывающие динамику развития геометрических размеров провала на горе Буланже.

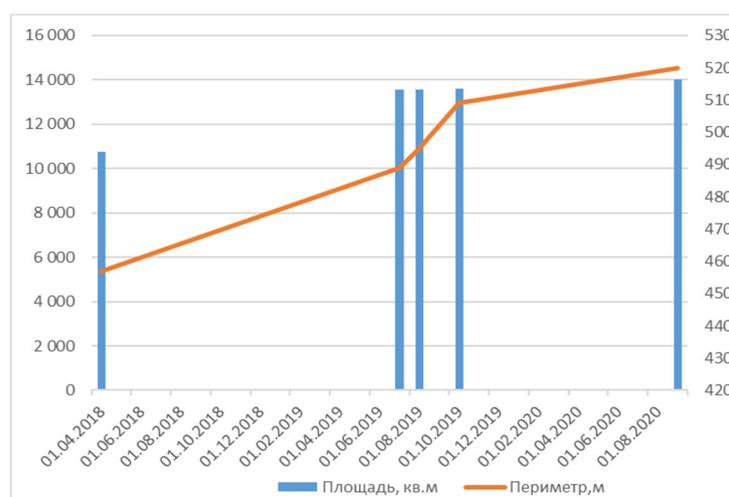


Рис. 6. Динамика развития провала на горе Буланже

Таблица 2

Прирост геометрических размеров провала на горе Буланже

Дата съемки	Увеличение площади, кв. м	Увеличение периметра, м	Увеличение по широте, м	Увеличение по долготе, м
26.04.2018	–	–	–	–
12.07.2019	2 777	32	2	3
26.08.2019	2 792	38	3	6
12.10.2019	2 847	52	5	7
05.09.2020	3 238	63	7	8

Заключение

В результате проведенных работ по обследованию контура провала на горе Буланже за период полевых исследований в период с апреля 2018 г. по октябрь 2020 г. установлено:

1) геометрические провалы размеры провала на сентябрь 2020 г. составляют: длина по северной широте – 140 м, по восточной долготе – 116 м, площадь – 14 010 кв. м, периметр – 520 м;

2) с момента первоначального исследования, а именно с апреля 2018 г. увеличение провала составило по северной широте более 7 м, по восточной долготе – более 8 м, увеличение площади провала составило 3 238 кв. м, увеличение периметра провала составило более 60 м;

3) таким образом, зафиксированная динамика развития провала по северной широте и восточной долготе составляет порядка 1,5–2,5 м в год.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карпик А. П., Лисицкий Д. В. Перспективы развития геодезического и картографического производства и новая парадигма геопрограммной деятельности // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 19–29.
2. Алтынцев М. А., Карпик П. А. Методика создания цифровых трехмерных моделей объектов инфраструктуры нефтегазодобывающих комплексов с применением наземного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 2. – С. 121–139.
3. Лобанова Т. В. Особенности обрушения земной поверхности над выработанным пространством слепых рудных тел Юго-Восточного участка Таштагольского месторождения // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2019. – Т. 6, № 1. – С. 169–175.
4. Указания по охране сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных разработок на железорудных месторождениях ОАО «Евразруда». – Новокузнецк, 2006. – 95 с.
5. Инструкция по условиям безопасной отработки слепых рудных залежей на железорудных месторождениях Горной Шории и Хакасии. – Новокузнецк, 2006. – 58 с.
6. Мазуров Б. Т., Кафтан В. И. Обзор развития геодинамики и геодезических методов решения геодинимических задач // Геодезия и картография. – 2020. – № 2. – С. 25–39. doi: 10.22389/0016-7126-2020-956-2-25-39.
7. Мазуров Б. Т., Панжин А. А. Методы оценки дивергенции векторных полей техногенных движений земной поверхности по геодезическим данным // Регулирование земельно-имущественных отношений в России: правовое и геопрограммное обеспечение, оценка недвижимости, экология, технологические решения : сб. материалов II Национальной научно-практической конференции в 2 ч. – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. Ч. 1. – С. 203–207.
8. Инструкции по производству маркшейдерских работ (РД 07-603-03) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.infosait.ru/norma_doc/43/43121/.
9. Писарев В. С., Ахмедов Б. Н. Оценка точности при выполнении подсчета объема земляных работ // Маркшейдерия и недропользование. – 2019. – № 4 (102). – С. 38–41.
10. Ахмедов Б. Н. Построение цифровых трехмерных моделей геопрограммства // Инженерная графика и трехмерное моделирование : сб. научных докладов молодежной научно-практической конференции. – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. – С. 9–13.
11. Писарев В. С., Ахмедов Б. Н., Басаргин А. А. Анализ способов сбора геоданных при геодезическом сопровождении горных работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 9 т. (Новосибирск, 24–26 апреля 2019 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. Т. 1, № 1. – С. 197–202.
12. Писарев В. С. Маркшейдерско-геодезические работы при создании геодинимических полигонов // Маркшейдерия и недропользование. – 2020. – № 2 (106). – С. 35–40.
13. Писарев В. С., Кудрявцева А. С. Методика создания трех мерной модели карьера по добыче строительного камня // Приложение к журналу Известия вузов. «Геодезия и аэрофотосъемка». – 2020. – № 11. – С. 144–146.

Получено 25.01.2021

© В. С. Писарев, 2021

STUDIES THE FORMATION OF A SINKHOLE CONTOUR IN THE AREA OF MOUNTAIN BOULANGER

Viktor S. Pisarev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-27-09, e-mail: viktor@ssga.ru

The relevance of the study is to develop a methodology for monitoring manufacturing objects using unmanned aerial vehicles formed as a result of mining operations. The Tashtagol iron ore deposit is located in the south of the Kemerovo region in Gornaya Shoria, and is being worked underground. The development of the reserves of the South-Eastern section has been carried out since 2004 by the Tashtagol branch of company Evrazruda. A special feature of the South-Eastern section reserves mining is the operation of protected objects within the zone of potential hazardous displacements, as a result of which, presumably in November 2017, a sinkhole was formed in the area of Mount Boulanger. The aim of the work is to describe the method of monitoring the determination of the geometric dimensions of the sinkhole in different periods of time using an unmanned aerial vehicle. The sinkhole development has been monitored since 2018. As a result, this study determines the geometric dimensions of the sinkhole in different periods of observations, and calculates the average sinkhole increase dynamics of the per year.

Keywords: Tashtagol field, Mount Boulanger, failure, unmanned aerial vehicles, quadcopters, GNSS, total station

REFERENCES

1. Karpik, A. P., & Lisitsky, D. V. (2020). Prospects for the development of geodesic and cartographic production and the new paradigm of geospatial activity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 19–29 [in Russian].
2. Altyntsev, M. A., & Karpik, P. A. (2020). The technique for creating digital three-dimensional models of oil and gas manufacturing facility object infrastructure using terrestrial laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(2), 121–139 [in Russian].
3. Lobanova, T. V. (2019). Features of the collapse of the earth's surface over the developed space of blind ore bodies Of the South-Eastern section of the Tashtagol field. *Fundamentalnye i prikladnye voprosy gornykh nauk [Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences]*, 6(1), 169–175 [in Russian].
4. Indications for the protection of facilities and natural objects from the harmful effects of underground mining on iron ore deposits of Evrazruda. (2006). Novokuznetsk, 95 p. [in Russian].
5. Instruction on the conditions of safe mining of blind ore deposits in the iron ore deposits of Gornaya Shoriya and Khakassia. (2006). Novokuznetsk, 58 p. [in Russian].
6. Mazurov, B. T., & Kaftan, V. I. (2020). Reviewing the development of geodynamics and geodesic methods for solving geodynamic tasks. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 2, 25–39 [in Russian].
7. Mazurov, B. T., & Panzhin, A. A. (2019). Methods for estimating the divergence of vector fields of technogenic movements of the ground surface on geodetic data. In *Sbornik materialov II Natsionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ch. 1. Regulirovanie zemel'no-imushchestvennykh otnosheniy v Rossii: pravovoe i geoprostranstvennoe obespechenie, otsenka nedvizhimosti, ekologiya, tekhnologicheskie resheniya [Proceedings of the II National Scientific and Practical Conference: Part 1. Regulation of Land and Property Relations in Russia: Legal and Geospatial Support, Real Estate Valuation, Ecology, Technological Solutions]* (pp. 203–207) [in Russian].
8. Instructions for the production of geodetic works (RD 07-603-03). Retrieved from http://www.infosait.ru/norma_doc/43/43121/ [in Russian].
9. Pisarev, V. S., & Ahmedov, B. N. (2019). Assessment of accuracy in the performance calculation of earthwork. *Marksheyderiya i nedropolzovanie [Mine Surveying and Subsurface Use]*, 4(102), 38–41 [in Russian].
10. Ahmedov, B. N. (2016). Construction of digital three-dimensional models of geospatial. In *Sbornik nauchnykh dokladov molodezhnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Inzhenernaya grafika i trekhmernoe modelirovanie [Proceedings of Scientific Reports of the Youth Scientific and Practical Conference: Engineering Graphics and Three-Dimensional Modeling]* (pp. 9–13). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

11. Pisarev, V. S., Ahmedov, B. N., & Basargin, A. A. (2019). Analysis of methods of collecting geodata in geodetic support of mining operations. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, no. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, No. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 197–202). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

12. Pisarev, V. S. (2020). Geodesic and mine surveying works when developing geodynamic field sites. *Marksheyderiya i nedropol'zovanie [Mine Surveying and Subsurface Use]*, 2(106), 35–40 [in Russian].

13. Pisarev, V. S., & Kudryavtseva, A. S. (2020). Method of creating a 3-dimensional quarry model for crushed stone mining. *Prilozhenie k zhurnalu Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Appendix to the Journal Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 11, 144–146 [in Russian].

Received 25.01.2021

© V. S. Pisarev, 2021