

Научная статья
УДК 528.71:614.8(002.68)
doi: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.63.11.015

Особенности проведения мониторинга оползневых процессов на полигонах твердых коммунальных отходов с применением материалов аэрофотосъемки

*Александр Юрьевич Чермошентцев*¹
*Игорь Михайлович Ламков*²
*Оксана Викторовна Приданова*³

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия

^{2,3}Сибирский государственный университет водного транспорта, Новосибирск, Россия

Автор ответственный за переписку: Игорь Михайлович Ламков, igor.lamkov@ya.ru

Аннотация. В статье рассмотрена проблема ведения мониторинга оползневых процессов на городских полигонах коммунальных отходов, последствиями которых могут стать залповые выбросы ядовитых веществ в атмосферу, загрязнение водных объектов и возникновение биолого-социальных чрезвычайных ситуаций. Представлены результаты исследований территории действующего полигона отходов с применением материалов аэрофотосъемки, фотограмметрической обработки изображений, построения цифровой модели местности и наглядного отображения опасных участков, на которых формируется тело оползня.

Ключевые слова: полигон твердых коммунальных отходов, оползень, аэрофотосъемка, цифровая модель местности, мониторинг

Для цитирования: Чермошентцев А.Ю., Ламков И.М., Приданова О.В. Особенности проведения мониторинга оползневых процессов на полигонах твердых коммунальных отходов с применением материалов аэрофотосъемки / Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2023. № 1 (28). С. 16-23. [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.63.11.015](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.63.11.015).

Features of monitoring landslide processes at municipal solid waste landfills using aerial photography materials

*Alexander Yu. Chermoshentsev*¹
*Igor M. Lamkov*²
*Oksana V. Pridanova*³

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia

^{2,3}Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Corresponding author: Igor M. Lamkov, igor.lamkov@ya.ru

Abstract. The article discusses the problem of monitoring landslide processes in urban landfills of municipal waste, the consequences of which can be salvo emissions of toxic substances into the atmosphere, pollution of water bodies and the occurrence of biological and social emergencies. The results of studies of the territory of the existing waste landfill using aerial photography materials, photogrammetric image processing, construction of a digital terrain model and visual representation of dangerous areas where the body of a landslide is formed are presented.

Keywords: landfill of municipal solid waste, landslide, aerial photography, digital terrain model, monitoring

For citation: Chermoshentsev A.Yu., Lamkov I.M., Pridanova O.V. Features of monitoring landslide processes at municipal solid waste landfills using aerial photography materials / Siberian Fire and Rescue Bulletin 2023. № 1 (28). p. 16-23. (In Russ.) [http: 10.34987/vestnik.sibpsa.2023.63.11.015](http://10.34987/vestnik.sibpsa.2023.63.11.015).

Введение

Среди опасных геологических явлений, приводящих к гибели людей и уничтожению объектов народного хозяйства, специалисты в области гражданской защиты в особую категорию выделяют оползни [1; 2]. Механизм возникновения оползня заключается в нарушении устойчивости склона: сила, связывающая слагающие породы под воздействием природных или техногенных факторов оказывается меньше силы тяжести, в результате чего происходит движение больших объемов грунта из возвышенных мест в пониженные [3].

К поражающим факторам оползня относится гравитационное и динамическое воздействие. Общими особенностями ведения поисково-спасательных работ при сходе оползня является необходимость привлечения большого количества спасателей и землеройной техники, короткий промежуток времени для спасения людей [4].

В начале XXI века на урбанизированных территориях отмечены техногенные оползни – разрушение склонов и насыпей полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО). Принципиальное отличие между оползнями на полигонах ТКО и в природной среде – неоднородность слагаемых грунтов склоны, их плотность и масса. Удельный вес влажной глины составляет 1,6–1,8 т/м³, в то время как плотность отходов без утрамбовывания 0,05 т/м³, с утрамбовыванием – 0,7 т/м³ [5].

Причинами движения отвалов мусора является превышение нормируемого количества размещаемых отходов и технологии их складирования, выделение воды в ходе химических реакций в теле полигона, насыщение поверхностей талыми водами в весенний период, принудительное увлажнение поверхности в пожароопасный период (10 л на 1 м³ в сутки), пролив воды при тушении пожаров, размывание склонов затяжными дождями. Оползни на полигонах ТКО сопровождаются залповыми выбросами ядовитых веществ в атмосферу, загрязнением поверхностных и подземных водных источников, что приводит к ухудшению санитарно-эпидемиологической и экологической обстановки природно-территориальных комплексов [6; 7]. Известны случаи введения режима чрезвычайной ситуации локального характера, например, 10 августа 2020 г. вследствие пожара на территории полигона ТКО «Левобережный» г. Новосибирска [8]. Кроме повреждений инженерных коммуникаций и нанесения ущерба инфраструктуре территорий, в мире зафиксированы чрезвычайные ситуации на полигонах ТКО, сопровождающиеся человеческими жертвами (табл. 1).

Табл. 1. Оползни на полигонах твердых бытовых отходов, сопровождающиеся гибелью людей

№ п/п	Дата	Место происшествя	Наименование полигона	Количество погибших (чел.)
1	10 июля 2000 г.	Филиппины, г. Кесон-Сити	Payatas	218
2	21 февраля 2005 г.	Индонезия, г. Чимахи	Leuwigaiah	143
3	21 декабря 2015 г.	Китай, г. Шэньчжэнь	Hengtaoyu	90
4	31 мая 2016 г.	Украина, г. Львов	Грибовичская	3
5	15 марта 2017 г.	Эфиопия, г. Аддис-Абеба	Cauchy	113

Увеличение рисков образования оползней связано с переполнение полигонов ТКО, отсутствием иных хранилищ для вывоза отходов, а строительство новых полигонов ТКО на большем удалении от городских территорий приводит к повышению тарифов на вывоз отходов и к образованию стихийных несанкционированных свалок. В результате происходит

продолжение эксплуатации существующего переполненного хранилища. Кроме того, рискам сходу оползней в большей степени подвержены рекультивированные полигоны ТКО, на территории которых нарушались технология размещения и утилизации отходов, а также не соблюдение нормативных углов откосов бортов полигона. Так на одном из полигонов Московской области с крутыми откосами (около 45°) оползень массой примерно в 600 тыс. тонн переместился на расстояние 15-20 м, разрушив дренажную систему, подъездную автодорогу с твердым покрытием, железобетонное ограждение. 20 октября 2022 г. на полигоне ТБО «Новый свет-ЭКО» (Ленинградская область) сошел крупный оползень, на ликвидацию последствий которого потребуется более 1 месяца.

Действующие методические рекомендации МЧС по защите населения и территорий при угрозе возникновения оползневых процессов [9], направлены на предупреждение природных оползней и не затрагивают объекты техногенного происхождения, к которым относятся полигоны ТКО.

Национальный стандарт РФ по обращению с отходами функционированию свалок и мусорных полигонов предписывает основные требования к эксплуатации объектов [10], среди которых – регулярный мониторинг территорий полигонов, направленный на предотвращение любой угрозы окружающей среде.

В настоящее время для контроля состояния мусорных полигонов используются технологии с применением материалов аэрофотосъемки [11]. Их целью является расчет точных количественных параметров массы отходов, правильность функционирования сооружений ТБО, ежедневный анализ выбросов вредных газов, выявление и мониторинг термоточек в местах скопления свалочных газов для предотвращения возгорания на свалках, картографирование территории ТБО для прогнозирования техногенных рисков.

Опыту использования аэрофотосъемки при исследовании земельных участков, занятых бытовыми отходами, технологиям выполнения работ посвящены многочисленные публикации, затрагивающие отдельные и общие аспекты плана производственного контроля полигонов ТБО.

В работе Н.Н. Слюсарь, В.Н. Коротаева, Ю.В. Куликовой [12] представлены результаты проведения визуального обследования объектов захоронения ТКО, включающие контроль за формированием рабочих карт полигона, целостности защитных ограждающих дамб, выявление очагов возгорания на свалках, фиксация мест скопления фильтрата и мониторинг состояния участков, недоступных при визуальном наблюдении с земли.

Применение результатов аэрофотосъемки, выполненной с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с целью оценки остаточной емкости полигонов ТБО описаны в работах Ахметзяновой, Усманова, Курицина, Кузьмина, Гафурова, Сироткина [13].

В настоящее время различные коммерческие организации, предлагают свои услуги для картографирования полигонов ТБО с помощью БПЛА. В целях централизованной инвентаризации действующих полигонов ТБО, Российским экологическим оператором (РЭО) совместно с ФГБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу» в 2022 г. выполняется проект по воздушному сканированию территории складированных отходов. Аэрофотографические материалы, полученные при съемке полигона ТБО, позволяют создавать высокоточные матрицы рельефа и структурированные 3D модели местности и инженерных сооружений на исследуемой территории. В дальнейшем полученные трехмерные данные могут быть отображены в ГИС и интерпретированы высокоточными инженерными системами. В представленных публикациях основной упор сделан на использовании полученных трехмерных данных для проведения любых геометрических измерений, построения разрезов и профилей, анализа инфраструктуры и локальной деятельности на объекте, выявления допущенных нарушений при складировании отходов – выход отвалов за границы отведенного земельного участка и их неравномерность размещения. Такие исследования соответствуют нормативным требованиям ведения мониторинга [14], в котором опасность воздействия полигонов ТКО на прилегающую территорию оценивается

по результатам наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, растительного и животного мира. Однако данный документ не устанавливает обязательного требования к организации мониторинга за состоянием склонов, следовательно, отсутствуют любые данные для прогнозирования оползневых процессов.

Сложность ведения мониторинга за состоянием склонов полигона ТБО существующими методами обусловлена невозможностью фиксирования контрольных точек из-за постоянных изменений вследствие поступления новых отходов, работы бульдозеров, скреперов и катков-уплотнителей, воздействия атмосферных осадков. Тем не менее, количественная оценка предполагаемой зоны обрушения уклонов мусорного полигона возможна по результатам выполненной аэрофотосъемки.

Материалы и методы

Объектом исследования является территория Гусинобродского полигона твердых коммунальных отходов, расположенного в правобережной части г. Новосибирска. Площадь полигона составляет около 0,49 км². Полигон является крупнейшим в городе, ежедневный объем ввозимых отходов составляет 10 000 м³.

В рамках экспериментальных исследований выполнена обработка материалов аэрофотосъемки, полученных с помощью камеры Phase One iXU-RS1900 с фокусным расстоянием 90 мм.

Основным продуктом, который используется для мониторинга оползневых процессов, является цифровая модель местности (ЦММ). Методика фотограмметрической обработки включала этапы взаимного ориентирования снимков, построения сети фототриангуляции, создания «плотного облака» точек и построения цифровой модели местности.

В качестве опорных точек использованы контуры антропогенных объектов местности, уверенно опознаваемые на снимках, такие как резко очерченные линии асфальтового покрытия, а также основания опор линий электропередач. Особенность планирования опорной сети заключалась в невозможности расположения точек внутри полигона, ввиду отсутствия четких контуров. Схема расположения опознаков приведена на рис. 1.



Рис. 1. Схема расположения опорных точек на Гусинобродском полигоне ТКО

Планово-высотная привязка опознаков осуществлялась путем спутниковых определений их координат относительно пунктов постояннодействующих базовых станций двухчастотным ГНСС-приемником Topcon статическим методом.

Средние погрешности определения планового положения опознаков относительно базовых станций составили 1 см, средние погрешности высот – 2 см (табл. 2). С учетом пространственного разрешения на местности 10 см/пиксель, исходные данные позволяют использовать материалы для создания топографических планов масштаба 1 : 1 000 [15].

Результаты

Обработка материалов аэрофотосъемки выполнена в программном продукте Agisoft Metashape 1.8.2.

Табл. 2. Оценка точности построения фототриангуляции

Назначение точек	СКП XY, м	СКП Z, м
Опорные	0,005	0,001
Контрольные	0,010	0,096

На рис. 2 показан результат создания цифровой модели местности в виде светотеневой отмывки рельефа.

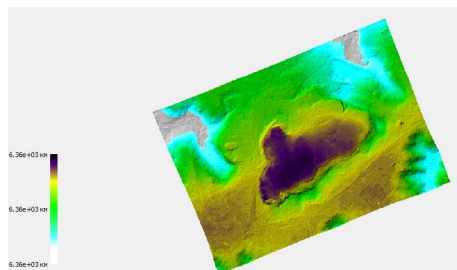
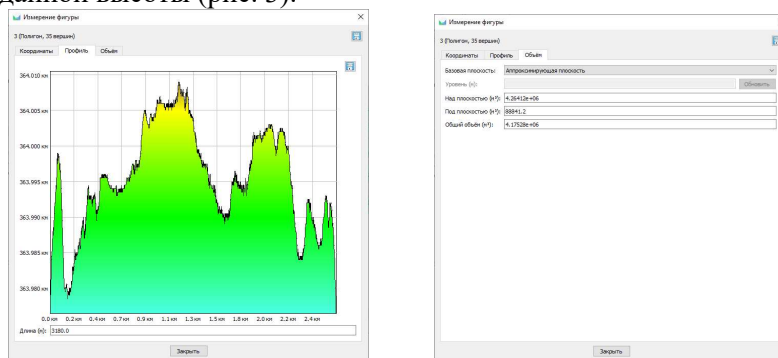


Рис. 2. Цифровая модель местности

Созданная цифровая модель местности позволяет выполнять построение профиля высот, а также определение объема как отдельного фрагмента, так всего полигона относительно средней плоскости или заданной высоты (рис. 3).



а)

б)

*Рис. 3. Измерение геометрических характеристик:
 а) построение профиля, б) определение объема*

Предупреждение чрезвычайных ситуаций на полигонах твердых бытовых отходов, связано со своевременным выделением участков, подверженных возникновению оползневых процессов. Для этих целей в программном продукте Agisoft Metashape предусмотрена функция отображения уклонов, позволяющая наглядно продемонстрировать опасные участки, в отличие от традиционного представления ЦММ (рис. 4).

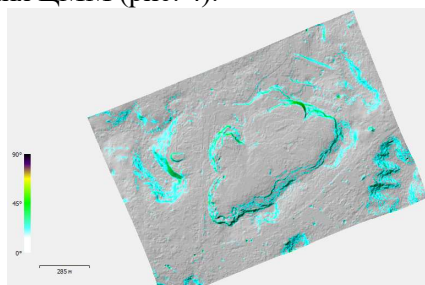


Рис. 4. Отображение уклонов

Представление модели в виде уклонов в соответствии с выбранной палитрой (рис. 5) позволяет выделить обрывы с опасными углами откосов бортов полигона.

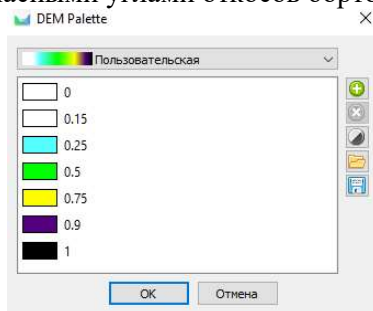


Рис. 5. Палитра отображения уклонов

В данной палитре небольшие значения уклонов отображаются светлым оттенком, а обрывы и уклоны, близкие к отвесным, показываются в виде черных контуров, что позволяет отличить ровные поверхности, естественные и насыпные грунты, оценить форму и параметры уклонов.

Заключение

Рост динамики техногенных оползневых процессов на полигонах твердых коммунальных отходов тесно взаимосвязан с достижением их проектной мощности, особенностей природно-климатических факторов и нарушений норм складирования. Выполненные исследования позволяют предложить собственникам полигонов технологию проведения мониторинга оползневых процессов, основанную на выделении обрывов и уклонов.

Таким образом появится возможность оперативного реагирования и предупреждения чрезвычайных ситуаций, связанных с возникновением оползней на территории полигонов коммунальных отходов, которая направлена на выполнение государственных программ в области защиты здоровья населения и охраны окружающей среды.

Список источников

1. Кузьмин В.В., Тимофеев Е.А., Чуносков Д.В. Оценка риска на территории Саратова вследствие проявления оползневых процессов // Вестник Саратовского госагроуниверситета. – 2010. – № 2. – С. 23–27.
2. Олзоев Б.Н., Данченко О.В. обзор геодезических методов наблюдений за оползневыми процессами с целью устойчивого развития территорий // XXI век. Техносферная безопасность. 2016. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-geodezicheskikh-metodov-nablyudeniy-za-opolznevyimi-protsessami-s-tselyu-ustoychivogo-razvitiya-territoriy> (дата обращения: 27.11.2022).
3. ГОСТ Р 22.0.03-2020. Национальный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Природные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
4. Матвеев В.Н., Бокарев А.И., Смирнов В.Д. Организация и ведение аварийно-спасательных работ: учеб. пособие / Минобрнауки России, ОмГТУ. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2015. – 184 с.
5. Хазанов Л.Г. Полигон твердых бытовых отходов как техногенный геологический объект // Сергеевские чтения: Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. Вып. 5. – М., 2003. – С. 195–197.
6. Шарова О.А. Влияние полигона твердых бытовых отходов на состояние подземных вод (на примере полигона ТБО Р.П. Красный Яр Астраханской области) // Вестник российских университетов. Математика. 2014. № 5. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poligona-tverdyh-bytovyh-othodov-nasostoyanie-podzemnyh-vod-na-primere-poligona-tbo-r-p-krasnyu-yarastrahanskoj-oblasti> (дата обращения: 27.11.2022).

7. Ашихмина Т.В., Жидова М.В. Мониторинг пожарной опасности полигонов твердых коммунальных отходов (ТКО) с учетом геоэкологических и медико-экологических аспектов // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 9. – С. 21–27. URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=37887> (дата обращения: 27.11.2022).

8. <https://nsk.rbc.ru/nsk/10/08/2020/5f30c2b79a7947f6f9c8e913>.

9. Методические рекомендации для органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и территориальных подсистем РСЧС по обеспечению безопасности населения и территорий при угрозе возникновения оползневых процессов, их прохождению и уменьшению последствий от них. Утверждены заместителем министра по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий А.П. Чуприяном 10 декабря 2015 года № 2-4-87-53-14.

10. Об отходах производства и потребления [Электронный ресурс]: федер. закон от 24.06.1998 № 89-ФЗ. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/.

11. Вдовенко А.В., Вдовенко В.А., Егоров П.И. Трофимов И.Ю., Кудинов И.В., Кашина Ж.В. Использование инновационных технологий в целях мониторинга земель // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 1 (115). – С. 172–177.

12. Слюсарь Н.Н., Коротаев В.Н., Куликова Ю.В. Визуальное обследование объектов захоронения отходов с использованием беспилотных летательных аппаратов // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. – 2017. – № 4. – С. 25–36. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.02.

13. Ахметзянова Л.Г., Усманов Б.М., Курицин И.Н., Кузьмин Р.С., Гафуров А.М., Сироткин В.В. Применение результатов аэрофотосъемки, полученных с использованием данных БПЛА, для оценки остаточной емкости полигона отходов на примере республики Татарстан // Вестник Удмуртского университета. – 2021. – Т. 21. Вып. 4. – С. 404–415.

14. Об утверждении Порядка проведения собственниками объектов размещения отходов, а также лицами, во владении или в пользовании которых находятся объекты размещения отходов, мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов и в пределах из воздействия на окружающую среду : приказ Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 8 декабря 2020 г. № 1030. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/573219713>.

15. ГОСТ Р 59328-2021. Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования. М., 2022. – 45 с. (Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии).

List of sources

1. Kuzmin V.V., Timofeev E.A., Chunosov D.V. Risk assessment on the territory of Saratov due to the manifestation of landslide processes // Bulletin of the Saratov State Agrarian University. - 2010. – No. 2. – pp. 23–27.

2. Olzoev B.N. Danchenko O.V. review of geodetic methods of observations of landslide processes for the purpose of sustainable development of territories // XXI century. Technosphere safety. 2016. № 4.

3. GOST R 22.0.03-2020. National Standard of the Russian Federation. Safety in emergency situations. Natural emergencies. Terms and definitions.

4. Matveev V. N., Bochkarev A. I., Smirnov V.D. Organization and conduct of emergency rescue operations : textbook. manual / Ministry of Education and Science of Russia, OmSTU. – Omsk : Publishing house of OmSTU, 2015. – 184 p.

5. Khazanov L.G. Landfill of solid household waste as a technogenic geological object // Sergiev Readings: Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology. Issue 5. M., 2003. – pp. 195–197.

6. Sharova O.A. The influence of the landfill of solid household waste on the state of groundwater (on the example of the landfill of MSW R. P. Krasny Yar of the Astrakhan region) // Bulletin of Russian Universities. Mathematics. 2014. № 5.

7. Ashikhmina T.V., Zhidova M.V. Monitoring of fire danger of landfills of solid municipal waste (MSW) taking into account geocological and medico-ecological aspects // Successes of modern natural science. – 2022. – No.9. – pp. 21–27.

8. <https://nsk.rbc.ru/nsk/10/08/2020/5f30c2b79a7947f6f9c8e913>.

9. Methodological recommendations for the executive authorities of the constituent entities of the Russian Federation and territorial subsystems of the Russian Emergencies Ministry to ensure the safety of the population and territories in the event of a threat of landslide processes, their passage and reduction of consequences from them. Approved by the Deputy Minister for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters A.P. Chupriyan on December 10, 2015 No. 2-4-87-53-14.

10. On Production and Consumption Waste : Federal Law. Dated 06/24/1998 No. 89-FZ [Electronic resource]. – Access mode: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_19109/.

11. Vdovenko A.V., Vdovenko V.A., Egorov P.I., Trofimov I.Yu., Kudinov I.V., Kashina Zh.V. On the use of innovative technologies for land monitoring purposes // International Scientific Research Journal. – 2022. – № 1 (115). – pp. 172–177.

12. Slyusar N.N., Korotaev V.N., Kulikova Yu.V. Visual inspection of waste disposal facilities using unmanned aerial vehicles // Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urbanistics. – 2017. - No.4. – pp. 25–36. DOI: 10.15593/2409-5125/2017.04.02.

13. Akhmetzyanova L.G., Usmanov B.M., Kuritsin I.N., Kuzmin R.S., Gafurov A.M., Sirotkin V.V. Application of aerial photography results obtained using UAV data to assess the residual capacity of a landfill on the example of the Republic of Tatarstan. Bulletin of Udmurt University. 2021. Vol. 21. Issue 4. pp.404-415.

14. On Approval of the Procedure for the Owners of Waste Disposal Facilities, as well as Persons in Possession or Use of which Waste Disposal Facilities are Located, monitoring the state and pollution of the Environment on the Territories of Waste Disposal Facilities and within the Limits of Environmental impact : Order of the Ministry of Natural Resources of the Russian Federation No. 1030 dated December 8, 2020. [Electronic resource]. – Access mode: <https://docs.cntd.ru/document/573219713>.

15. GOST R 59328-2021. Aerial topographic photography. Technical requirements. M., 2022. 45 p. (Federal Agency for Technical Regulation and Metrology).

Информация об авторах

А.Ю. Чермошенцев - кандидат технических наук

И.М. Ламков - кандидат технических наук

О.В. Приданова - кандидат технических наук

Information about the author

A.Yu. Chermoshentsev - Ph.D. of Engineering Sciences

I.M. Lamkov - Ph.D. of Engineering Sciences

O.V. Pridanova - Ph.D. of Engineering Sciences

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакция 03.02.2023; одобрена после рецензирования 27.02.2023; принята к публикации 21.03.2023.

The article was submitted 03.02.2023, approved after reviewing 27.02.2023, accepted for publication 21.03.2023.