

Научная статья
УДК 614.8:521.1

АСТЕРОИДНО-КОМЕТНАЯ ОПАСНОСТЬ В СИСТЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ МЧС РОССИИ

✉ Савельев Михаил Иванович.

Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (Федеральный центр науки и высоких технологий), Москва, Россия

✉ savelev-22@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы обоснования места астероидно-кометной опасности как фактора риска в системе классификации чрезвычайных ситуаций МЧС России. С позиции генезиса астероидно-кометной опасности и последствий проявления дается характеристика воздействия ее первичных и вторичных поражающих факторов на земную поверхность, включая расположенные на ней потенциально опасные объекты. На основе их анализа определяется место астероидно-кометной опасности в системе классификации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Ключевые слова: астероидно-кометная опасность, космическая угроза, опасное небесное тело, поражающие факторы, риск, потенциально опасный объект, система классификации чрезвычайных ситуаций

Для цитирования: Савельев М.И. Астероидно-кометная опасность в системе классификации чрезвычайных ситуаций МЧС России // Проблемы управления рисками в техносфере. 2023. № 2 (66). С. 40–48.

Scientific article

ASTEROID-COMET DANGER IN THE EMERGENCY CLASSIFICATION SYSTEM OF EMERCOM OF RUSSIA

✉ Savelev Mikhail I.

All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (Federal center of science and high technologies), Moscow, Russia

✉ savelev-22@mail.ru

Abstract. The article discusses the issues of substantiating the place of asteroid-comet danger as a risk factor in the classification system of emergencies of EMERCOM of Russia. From the standpoint of the genesis of the asteroid-comet hazard and the consequences of its manifestation, a characteristic of the impact of its primary and secondary damaging factors on the Earth's surface, including potentially dangerous objects located on it, is given. Based on their analysis, the place of asteroid-comet danger in the classification system of natural and man-made emergencies is determined.

Keywords: asteroid-comet danger, space threat, dangerous celestial body, damaging factors, risks, potentially dangerous object, emergency classification system

For citation: Savelev M.I. Asteroid-comet danger in the emergency classification system of EMERCOM of Russia // Problemy upravleniya riskami v tekhnosfere = Problems of risk management in the technosphere. 2023. № 2 (66). P. 40–48.

Введение

Астероиды и кометы относятся к малым телам Солнечной системы. С течением времени от образования планеты Земля и до настоящего времени их столкновение с земной поверхностью стало регулярным. Чаще всего из-за малых размеров астероиды мы не замечаем и не регистрируем. Более редки случаи с крупными телами, относящимися к классу опасных небесных тел (ОНТ). Последствиями воздействия ОНТ на земную поверхность являются кратеры, возникшие при падении, например, Тунгусского (30 июня 1908 г.), Сихотэ-Алинского (13 февраля 1947 г.) и Челябинского (15 февраля 2013 г.) метеоритов.

Спустя десятилетие после Челябинского события проблема астероидно-кометной опасности (АКО) не снизила своей остроты и стала предметом и объектом пристального внимания мирового научного сообщества. Согласно приказу МЧС России от 5 июля 2021 г. № 429 «Об установлении критериев информации о чрезвычайных ситуациях природного и техногенного характера» АКО впервые получила юридическое признание в российском законодательстве в качестве чрезвычайной ситуации (ЧС). Приказ зарегистрирован в Минюсте и вступил в силу с 1 января 2022 г.

В решении данной проблемы особое место занимает рассмотрение последствий проявления АКО в системе классификации ЧС.

Генезис АКО

По своему генезису околоземные астероиды и кометы являются космическими объектами природного происхождения и одновременно источниками АКО. Они различаются по своему составу. Большая часть популяции астероидов содержат каменные (углеродистые хондриты или силикаты без углеродных соединений) породы, а меньшая – никель, железо и другие металлы. В то же время кометы состоят из твердого, подобно астероидам, ядра и заледевших воды и газов.

Кометы при движении по орбите вблизи Солнца под воздействием солнечного тепла оставляют след в виде хвоста от испарений льда и летучих газов. Как правило, вдалеке от Солнца кометы теряют свою способность формировать газовый хвост. Так же во Вселенной существует популяция комет, которые, потеряв большую часть своих летучих веществ, выглядят как астероиды. Их относят к классу потухших комет.

Согласно размерам распределение малых тел (астероидов, метеоритных тел и комет) в околосолнечном пространстве может быть описано степенным законом вида [1]:

$$N = kD^b,$$

где N – общее число малых небесных тел с диаметрами, большими D ; k – некоторая постоянная пропорциональности, позволяющая масштабировать значение функции.

$$b = \begin{cases} -2.6 & \text{для } 0.01 < D \leq 0.25 \text{ км,} \\ -2.0 & \text{для } 0.25 < D \leq 2.5 \text{ км,} \\ -4.3 & \text{для } D > 2.5 \text{ км.} \end{cases}$$

Показатель степени b меняется от популяции к популяции и может принимать различные значения в зависимости от размеров D небесных тел. Степенное распределение тел по размерам иллюстрирует тот факт, что астероиды, кометы, метеориты являются, как правило, продуктами дробления. В то же время данный показатель распределения позволяет прогнозировать количество малых небесных тел и увеличение их числа, но с меньшими размерами за счет дробления в конкретной популяции тел.

Важно отметить, что источниками околоземных астероидов является Главный пояс астероидов, а комет – Пояс Койпера и Облако Оорта. Главный пояс астероидов находится

между орбитами Марса и Юпитера. Пояс Койпера лежит за пределами орбиты Нептуна на удалении до 120 а.е. от Солнца, а Облако Оорта находится на удалении светового года.

Околоземные астероиды образуют условную группу АААА – околоземных астероидов (Атиры, Атоны, Аполлоны и Амуры). Орбиты астероидов данной группы пересекают земную орбиту с периодом примерно в один год. В отношении определения потенциально опасных небесных тел руководствуются математическим соотношением для радиуса вектора их орбит [2]:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 \pm e \cos w} \approx 1 \text{ а.е.},$$

где a – большая полуось; e – эксцентриситет; w – аргумент перигелия орбиты небесного объекта. Знак «+» соответствует восходящему, а знак «-» – нисходящему узлам орбиты в случае соответственно прямого (угол наклона орбиты к эклиптике i меняется от 0° до 90°) и обратного (угол наклона i в пределах от 90° до 180°) движения небесного тела.

Кроме того, среди околоземных астероидов отдельно выделяют потенциально опасные для Земли астероиды. Они сближаются с Землей на расстояние менее 0,05 а.е. и несут реальную угрозу столкновения с нашей планетой.

В свою очередь, кометы из-за удаленности Пояса Койпера и Облака Оорта не представляют реальной угрозы для земной цивилизации. Однако среди некоторых ученых обсуждается гипотеза о кометном происхождении Тунгусского события, что подтверждает необходимость проведения исследований короткопериодических с периодом не менее ста лет комет Пояса Койпера и долгопериодических с периодом более двести лет комет Облака Оорта.

Поражающие факторы и риски АКО

При вторжении в атмосферу небесные тела в зависимости от размеров полностью сгорают или взрываются от теплового нагрева, и малая доля долетает до поверхности Земли. Однако возникновение таких событий для земной жизни могут иметь реальные последствия (таблица) [3].

Таблица

Характеристика последствий вторжения ОНТ

Объект	Размеры, D	Частота (раз/лет)	Размер кратера, км	Последствия встречи ОНТ с Землей
Пылинка, Микрометеороид	$D \leq 0.1$ см	Практически непрерывно	Нет	Сгорает в атмосфере (метеор) или выпадает на поверхность
Метеороид, Астероид, Комета	$0.1 \text{ см} < D \leq 1$ м	каждые ~15 дней (для 0.1 м)	Нет	Сгорает в атмосфере (болид)
	$1 \text{ м} < D < 30$ м	~1 (для 5 м) ≤	Нет	Болид. Сгорают, либо остатки долетают до Земли (метеорит)
	30 м	~ 250	Нет > 0.5	Тунгусское событие (воздушный взрыв) Аризонский кратер (поверхностный взрыв) Локальная катастрофа
Астероид или Комета	100 м	~ 3 тыс.	>2	Региональная катастрофа
	>1 км	>1 млн. лет	>20	Глобальная катастрофа
	> 10 км	100 млн. лет	> 200	Конец цивилизации

Отмечаются два типа последствий вторжения ОНТ: воздушный взрыв астероидов в атмосфере Земли и ударно-кинетическое столкновение метеорита с земной или водной поверхностью. Взрыв небесного тела (астероида) в атмосфере, ставший общепотребительным термином, под которым подразумевается, что небесное тело при взаимодействии с атмосферой Земли разрушается, плавится, испаряется и выделяет большую часть своей кинетической энергии в виде тепловой энергии на некоторой высоте от поверхности Земли.

Мощность взрыва астероида в тротиловом эквиваленте (ТНТ) можно определить по эмпирической формуле через энергию E_o высвета [4]:

$$q = 8,2508 E_o^{0,885} \quad (1)$$

Обычно данное выражение справедливо применительно к достаточно крупным телам, кинетическая энергия которых сравнима с энергией воздушных взрывов, порядка 1 кт тротилового эквивалента и более. Так, вторжение метеорита в околоземное пространство над территорией Челябинской обл. сопровождалось поражающими факторами, параметры и риски которых отражены на рис. 1 [5–7].

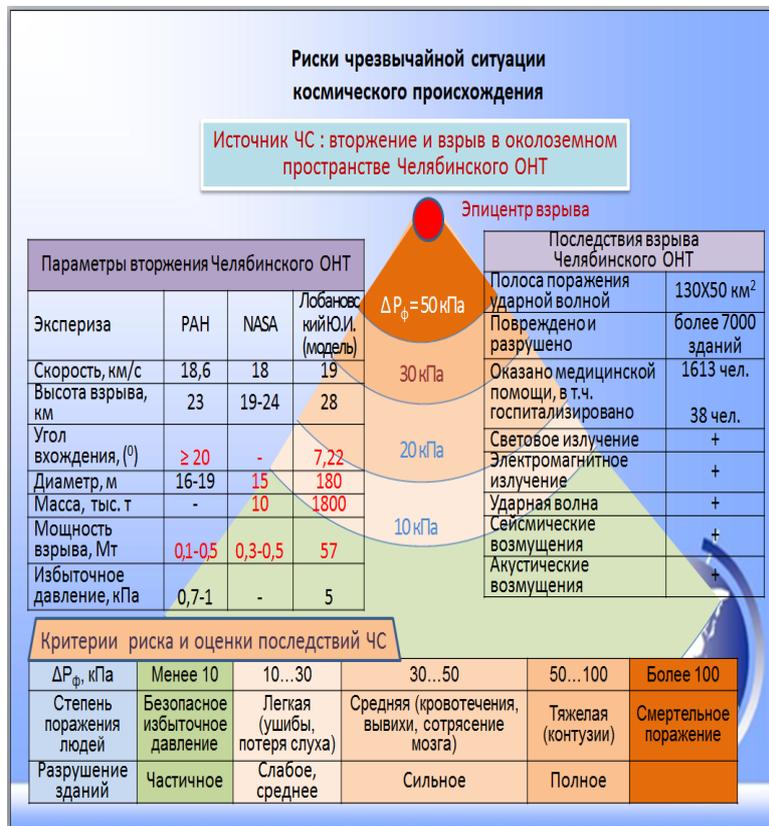


Рис. 1. Характеристика поражающих факторов Челябинского события 15 февраля 2013 г.

Из приведенных на рис. 1 оценочных данных Челябинского события 15 февраля 2013 г. очевидно, что ударная волна является основным поражающим фактором и зависит от мощности воздушного взрыва ОНТ, значение которого определяется по эмпирической формуле через энергию высвета согласно выражению (1). Разночтения экспертов Российской академии наук, NASA и модельного эксперимента Ю.И. Лобановского (выделено красным цветом) по мощности взрыва и другим параметрам ОНТ подчеркивает проблематичность выработки стратегии противодействия АКО.

Однако приведенные экспертные оценки Челябинского события не противоречат реальным последствиям АКО в зоне ЧС, которая была отнесена к ЧС федерального уровня. Полоса поражения от ударной волны составила свыше 130 км в длину и более 50 км в ширину. Было зафиксировано повреждение или разрушение более 7 000 зданий. За медицинской помощью обратилось более 1 613 чел., госпитализировано 38 чел. [5].

Характеристика по степени воздействия ударной волны для населения и сооружений приведены в таблице критериев риска и оценки последствий ЧС (рис. 1), вызванной АКО. В результате население и территории могут оказаться в зонах приемлемого или неприемлемого риска.

Место АКО в системе классификации ЧС

АКО относится к космическим угрозам. В статье под космической угрозой понимается потенциально возможное событие, действие (воздействие), процесс или явление космического происхождения, которое может привести к нанесению ущерба населению и территории. Источником космических угроз являются космический мусор, АКО, космическая погода, биологические и астрофизические угрозы.

В отличие от вышеуказанных угроз, АКО характеризуется внезапностью проявления своих поражающих факторов, что приводит к повышенному риску для населения и территорий. Так, при входе небесного тела, подобного Челябинскому, в атмосферу Земли возникает воздушный взрыв, сопровождающийся также ударной волной, тепловым излучением и пожарами, электромагнитными возмущениями, инфразвуком и сейсмическими эффектами.

В зависимости от поверхности, на которую приходится удар, возможна реализация различных поражающих факторов. При ударе о землю происходит образование кратера и изменение рельефа, возникают сейсмические эффекты. Контактное соударение с поверхностью Земли вызывает ударную волну в атмосфере, электромагнитные возмущения и акустико-гравитационные волны, а так же химические реакции в воздушном пространстве. Вследствие теплового излучения происходят пожары и тепловое поражение людей. Столкновение метеорита с сушей провоцирует выброс плюма и пыли, а с водной поверхностью – выброс воды и образование цунами [8].

Вышеуказанные процессы могут оказать различные виды негативных воздействий на окружающую среду, такие как: механическое, физическое, химическое и смешанное воздействия. В результате создаются угрозы и риски для безопасности, благоприятности, комфортности жизнедеятельности населения, описанные в работе [9].

Подобная ситуация наблюдалась при столкновении с земной поверхностью тунгусского метеорита с нанесением масштабного экологического вреда литосфере, гидросфере, флоре, животному миру.

Анализ последствий поражающих факторов Челябинского события выявил возможное проявление первичных и вторичных поражающих факторов воздушного взрыва ОНТ (рис. 2) [10].

Первичные поражающие факторы являются факторами прямого, а вторичные – факторами сопутствующего действия. Проявление вторичных факторов происходит вследствие воздействия первичных факторов на потенциально опасные объекты. К первичным факторам относятся преимущественно воздушная ударная волна, а к вторичным – радиационное и химическое заражение (загрязнение) местности, которое становится реальным событием при разрушении ударной волной соответствующих радиационных и химических опасных объектов. В случае воздействия метеорита на гидротехнические сооружения не исключается затопление территорий.



Рис. 2. Последствия от поражающих факторов АКО

АКО как источник ЧС с учетом ее первичных и вторичных поражающих факторов в совокупности с комических угрозами, органично вписывается в систему классификации ЧС, принятой в МЧС России [11]. На рис. 3 проявление АКО выделено светло-оранжевым цветом.

Предложенная классификация включает наряду с АКО астрофизические и биологические угрозы, а также космическую погоду и космический мусор. В совокупности проявления данных угроз они рассматриваются в качестве источников ЧС космического происхождения. Исследование последствий этих угроз требует отдельного научного осмысления, что выходит за рамки настоящей статьи.

В зависимости от размеров, массы и мест падения ОНТ на Землю, масштабы последствий можно разделить по площади поражения на локальные, региональные, федеральные и глобальные последствия. Воздействие опасных небесных тел на гидротехнические сооружения, радиационные, химические и биологические потенциально опасные объекты определяют параметры проявления АКО, подлежащие описанию в системе классификации ЧС МЧС России.

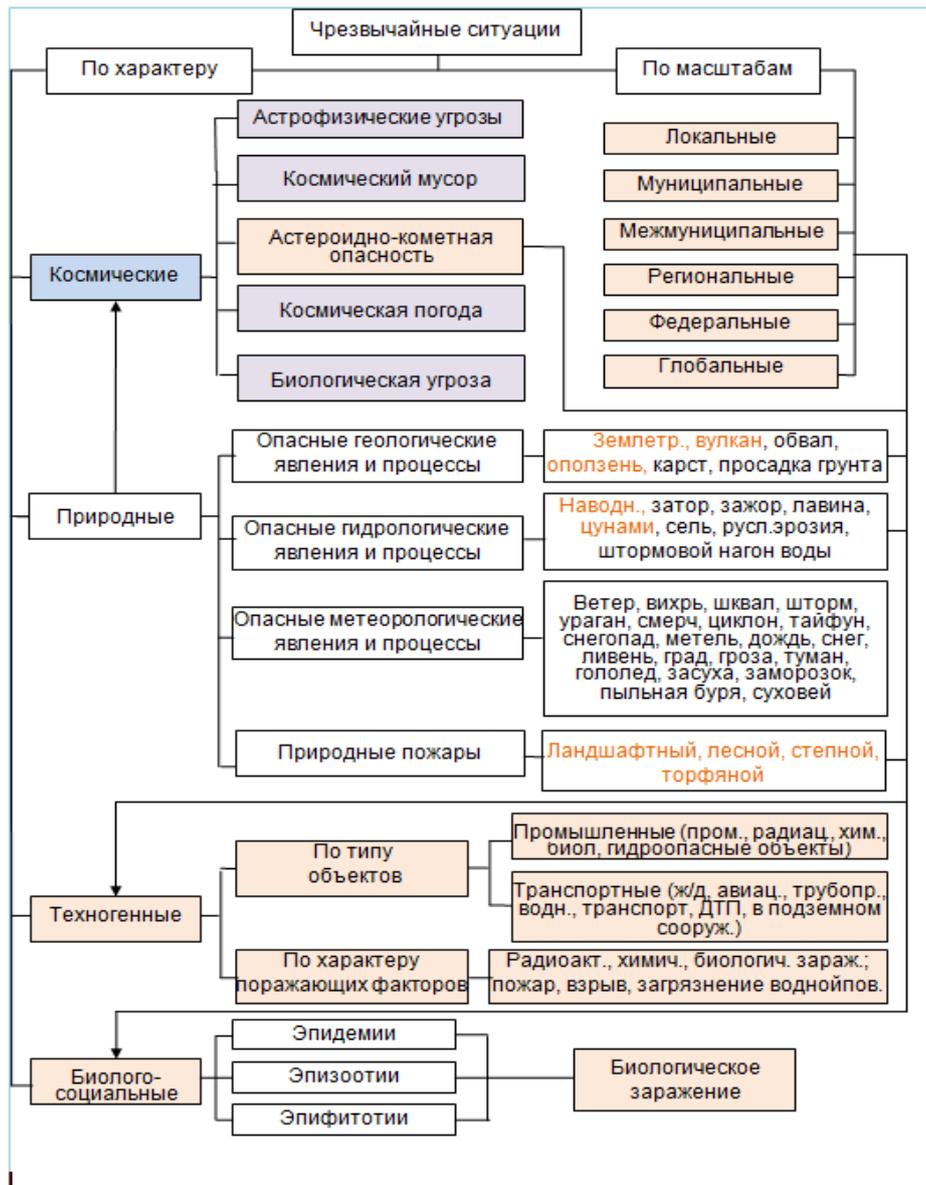


Рис. 3. АКО в системе классификация ЧС

Заключение

Важно отметить и другую особенность АКО. Не исключается одновременное проявление всей совокупности первичных и вторичных поражающих факторов. В таком случае АКО следует рассматривать в качестве источника ЧС природно-техногенного характера.

В результате АКО по своему характеру, масштабу и последствиям органично дополняет угрозы и опасности, принятые в системе классификации ЧС МЧС России.

Включение АКО в систему классификации ЧС позволяет органам повседневного управления МЧС России определиться с мерами, направленными на смягчение и ликвидацию последствий от воздействия поражающих факторов АКО. В зависимости от масштабов последствий не исключается привлечение в рамках Единой государственной системы предупреждения и ликвидации ЧС значительного количества людей и материальных ресурсов других министерств и ведомств для проведения аварийно-спасательных работ по ликвидации последствий возможных столкновений ОНТ с Землей.

Предложенная классификация чрезвычайных ситуаций с учетом АКО предполагает необходимость предпринять комплекс мер по защите населения и территорий по всему спектру последствий, вызванных АКО.

Список источников

1. Астероидно-кометная опасность / Ю.Д. Медведев [и др.]; под ред. А.Г. Сокольского. СПб.: ИТА, МИПАО, 1996. 244 с.
2. Рой А. Движение по орбитам. М.: Мир, 1981. 544 с.
3. Шустов Б.М. Космические угрозы и задачи современной науки: доклад на заседании Президиума РАН // Вестник российской академии наук. 2019. Т. 89. № 8. С. 777–792.
4. Фортон В.Е., Султанов В.Г., Шутов А.В. Взрыв Челябинского суперболида в атмосфере Земли: рядовое событие или уникальное стечение обстоятельств? // Геохимия. 2013. № 7. С. 609–628.
5. Отчет об анализе чрезвычайной ситуации, сложившейся в результате выпадения метеоритного дождя на территории Челябинской области 15 февраля 2013 года. Челябинск: Главное управление МЧС России по Челябинской обл., 2013.
6. Савельев М.И. Проблемы создания Российского сегмента мониторинга и прогноза астероидно-кометной опасности // Опыт ликвидации крупномасштабных чрезвычайных ситуаций в России и за рубежом: XIX Междунар. науч.-практ. конф. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2014.
7. Лобановский Ю.И. Уточненные параметры Челябинского и Тунгусского метеороидов и характеристики их взрывов. URL: <http://www.synerjetics.ru/article/objects.pdf> (дата обращения: 28.11.2022).
8. Разработка информационно-аналитической системы мониторинга опасных небесных тел и планирования противодействия астероидно-кометной опасности: отчет о НИР № 312/1020–019 от 08.12.2014 / В.П. Кулагин [и др.] // МЧС России. 2014. 376 с.
9. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. Т. 945. P. 988–994.
10. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Анализ и обеспечение защищенности от чрезвычайных ситуаций / В.А. Акимов [и др.]; науч. рук-ль член-корреспондент РАН Н.А. Махутов. М.: МГОФ «Знание», 2021. 500 с.
11. Астероидно-кометная опасность: стратегия противодействия / В.А. Акимов [и др.]; под общ. ред. В.А. Пучкова. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015. 272 с.

References

1. Asteroidno-kometnaya opasnost' / Yu.D. Medvedev [i dr.]; pod red. A.G. Sokol'skogo // SPb.: ITA, MIPAO, 1996. 244 s.
2. Roj A. Dvizhenie po orbitam. M.: Mir, 1981. 544 s.
3. Shustov B.M. Kosmicheskie ugrozy i zadachi sovremennoj nauki: doklad na zasedanii Prezidiuma RAN // Vestnik rossijskoj akademii nauk. 2019. T. 89. № 8. S. 777–792.
4. Fortov V.E., Sultanov V.G., Shutov A.V. Vzryv Chelyabinskogo superbolida v atmosfere Zemli: ryadovoe sobytie ili unikal'noe stechenie obstoyatel'stv? // Geohimiya. 2013. № 7. S. 609–628.
5. Otchet ob analize chrezvychajnoj situacii, slozhivshejsya v rezul'tate vypadeniya meteoritnogo dozhdya na territorii Chelyabinskoj oblasti 15 fevralya 2013 goda. Chelyabinsk: Glavnoe upravlenie MCHS Rossii po Chelyabinskoj obl., 2013.
6. Savel'ev M.I. Problemy sozdaniya Rossijskogo segmenta monitoringa i prognoza asteroidno-kometnoj opasnosti // Opyt likvidacii krupnomasshtabnyh chrezvychajnyh situacij v Rossii i za rubezhom: XIX Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2014.

7. Lobanovskij Yu.I. Utochnennye parametry Chelyabinskogo i Tungusskogo meteoroidov i harakteristiki ih vzryvov. URL: <http://www.synerjetics.ru/article/objects.pdf> (data obrashcheniya: 28.11.2022).

8. Razrabotka informacionno-analiticheskoy sistemy monitoringa opasnyh nebesnyh tel i planirovaniya protivodejstviya asteroidno-kometnoj opasnosti: otchet o NIR № 312/1020–019 ot 08.12.2014 / V.P. Kulagin [i dr.] // MCHS Rossii. 2014. 376 s.

9. Tskhovrebov E., Velichko E., Niyazgulov U. Planning measures for environmentally safe handling with extremely and highly hazardous wastes in industrial, building and transport complex // Materials science forum. 2019. T. 945. P. 988–994.

10. Bezopasnost' Rossii. Pravovye, social'no-ekonomicheskie i nauchno-tekhicheskie aspekty. Analiz i obespechenie zashchishchennosti ot chrezvychajnyh situacij / V.A. Akimov [i dr.]; nauch. ruk-l' chlen-korrespondent RAN N.A. Mahutov. M.: MGOF «Znanie», 2021. 500 s.

11. Asteroidno-kometnaya opasnost': strategiya protivodejstviya / V.A. Akimov [i dr.]; pod obshch. red. V.A. Puchkova. M.: FGBU VNII GOCHS (FC), 2015. 272 s.

Информация о статье:

Статья поступила в редакцию: 16.03.2023; одобрена после рецензирования: 24.05.2023; принята к публикации: 26.05.2023

The information about article:

The article was submitted to the editorial office: 16.03.2023; approved after review: 24.05.2023; accepted for publication: 26.05.2023

Информация об авторе:

Савельев Михаил Иванович, ведущий научный сотрудник федерального центра науки и высоких технологий Всероссийского научно-исследовательского института по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России (121352, Москва, Давыдовская ул., д. 7), кандидат технических наук, e-mail: savelev-22@mail.ru

Information about the author:

Savelev Mikhail I., leading researcher at the federal center for science and high technologies of the All-Russian research institute for civil defense and emergency situations of EMERCOM of Russia (121352, Moscow, Davydovskaya str., 7), candidate of technical sciences, e-mail: savelev-22@mail.ru