

УДК 614.8:629.78

## Актуальные вопросы прогнозирования чрезвычайных ситуаций в результате возникновения нештатных ситуаций при пусках ракет-носителей с космодромов Байконур и Восточный

ISSN 1996-8493  
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71  
© Технологии гражданской безопасности, 2022

**О.И. Рожко**

### Аннотация

В работе рассмотрены актуальные вопросы прогнозирования чрезвычайных ситуаций в результате возникновения нештатных ситуаций при пусках ракет-носителей с космодромов Байконур и Восточный. Показано современное состояние теоретических подходов к вопросам прогнозирования ЧС для населения, проживающего в районах падения отделяющихся частей ракет-носителей в штатном и аварийном режимах. Автором сформулированы задачи для системы РСЧС в области обеспечения безопасности гражданского населения на территориях, расположенных вне космодромов.

**Ключевые слова:** ракета-носитель; отделяющаяся часть; трасса пуска; точки падения; компоненты ракетных топлив; безопасность населения; поражающий фактор.

## Topical Issues of Emergencies Forecasting as a Result of Emergency Situation Soccurrence During the Launches of Space Vehicles From the Baikonur and Vostochny Cosmodromes

ISSN 1996-8493  
DOI:10.54234/CST.19968493.2022.19.1.71  
© Civil Security Technology, 2022

**O. Rozhko**

### Abstact

The paper considers topical issues of emergencies forecasting as a result of the emergency situations occurrence during launches of space vehicles from the Baikonur and Vostochny cosmodromes. Current state of theoretical approaches to the issues of emergency forecasting for the population living in the fall areas of separable parts of launch vehicles in normal and emergency modes is shown. The author formulated the tasks for the emergency response system in the field of ensuring the safety of the civilian population in the territories located outside the spaceports.

**Key words:** launch vehicle; separating part; launch route; drop points; components of rocket fuels; public safety; striking factor.

22.07.2021

Трассы пусков ракет-носителей (РН) и прилегающие к ним территории являются зонами потенциальной опасности в связи с возможностью отказа РН на активном участке полета и падения аварийного изделия или его фрагментов вдоль трассы. Падение отделяющихся частей в районах падения, являющееся неотъемлемой частью технологического процесса запуска РН для выведения космического аппарата, также представляет определенную опасность для населения, находящегося в районе падения (РП) или на прилегающих территориях.

Таким образом, трассы пусков и РП отделяющейся части (ОЧ) РН могут рассматриваться как потенциально опасные производственные объекты, к которым могут быть применены принципы анализа риска опасных производственных объектов. Проблемным вопросам использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения посвящена монография [1]. Прогнозированию экологических последствий космической деятельности и анализу современных тенденций повышения экологической безопасности ракет космического назначения посвящены работы [2–3]. Подходы к снижению техногенного воздействия от ракетно-космической деятельности в районах падения описаны в [4].

Необходимо отметить, что с 1957 года в мире было произведено свыше 5700 пусков ракет различного назначения и класса, из них 6,8% закончилось аварийно. В СССР и РФ было произведено около 3240 пусков, из них 5,4% закончилось аварией. При этом не было зафиксировано ни одного случая гибели или причинения ущерба здоровью населения непосредственно при проведении запуска как по трассам, так и в РП ОЧ. Это связано с относительно высокой надежностью ракет-носителей, прохождением трасс и расположением РП ОЧ большей частью на малонаселенных территориях. Кроме того, при проведении запуска РН выполняется ряд обязательных мер для обеспечения безопасности в соответствии с требованиями законодательных и нормативных документов. До настоящего времени все аварии РН с несчастными и смертельными случаями произошли в непосредственной близости от стартовых комплексов на территориях космодромов и касались персонала, обеспечивающего запуск ракет.

Проектирование новых трасс пусков и РП ОЧ РН предусматривает выполнение мероприятий по обеспечению приемлемой безопасности населения прежде

всего за счет выбора мест размещения РП ОЧ и прохождения трассы пуска. Различным аспектам уменьшения районов падения ступеней ракет и снижения последствий пусков посвящены [5–12].

В данной работе в первую очередь рассматриваются вопросы безопасности гражданского населения на территориях, расположенных вне космодрома, где не принимаются какие-либо специальные меры безопасности.

На рис. 1 в качестве примера представлена общая Аварийная трасса для РКН «Протон-М» с КА «Спектр-РГ».

Аварийная зона трассы (АЗТ) аппроксимируется полигоном, образованным линиями, ограничивающими зону максимального (с заданной вероятностью) прогнозируемого бокового разброса точек падения РН в случае аварии.

Исходными данными для построения АЗТ является таблица характеристик аварийной трассы, включающая: координаты дальности падения; максимальные (с заданной вероятностью) продольные и боковые размеры зоны рассеивания точек падения РН и ее фрагментов на земной поверхности при аварийном выключении ДУ в различные моменты полета. Прогнозируемые размеры зоны рассеивания точек падения в продольном и боковом направлениях в зависимости от времени наступления отказа определяются предприятием-разработчиком РН.

АЗТ рассчитывается путем интерполяции последовательности точек левой и правой линий, ограничивающих зону рассеивания точек падения аварийной РН, и объединения этих линий в объект типа «полигон». Для предварительных оценок границы зон падения аварийной РН ограничиваются линиями, огибающими районы падения ОЧ.

Полученная АЗТ наносится на цифровую карту для предварительного картографического анализа. В ходе анализа определяются наземные объекты различного типа, которые попадают в АЗТ, и таким образом являются потенциальными объектами риска. Проводятся количественные оценки числа и характеристик объектов, находящихся в АЗТ. На основании данных об этих объектах делается предварительный качественный вывод о потенциальной опасности или безопасности трассы.

В соответствии с ГОСТ Р 22.0.07-95 «Источники техногенных чрезвычайных ситуаций. Классификация и номенклатура поражающих факторов и их параметров» поражающие факторы источников техногенных



Рис. 1. Общая Аварийная трасса для РКН «Протон-М» с КА «Спектр-РГ»

ЧС классифицируют по генезису (происхождению) и механизму воздействия.

Поражающие факторы источников техногенных ЧС по генезису подразделяют на факторы:

- прямого действия или первичные;
- побочного действия или вторичные.

Первичные поражающие факторы непосредственно вызываются возникновением источника техногенной чрезвычайной ситуации. Вторичные поражающие факторы вызываются изменением объектов окружающей среды первичными поражающими факторами.

Поражающие факторы источников техногенных ЧС по механизму действия подразделяют на факторы:

- физического действия;
- химического действия.

К поражающим факторам физического действия относят:

- воздушную ударную волну;
- обломки или осколки;
- тепловое излучение;
- экстремальный нагрев среды;
- волну сжатия в грунте;
- сейсмозрывную волну;
- волну прорыва гидротехнических сооружений;
- ионизирующее излучение.

К поражающим факторам химического действия относят токсическое действие опасных химических веществ.

Из вышеперечисленного спектра поражающих факторов, исходя из особенностей ОЧ и опыта эксплуатации РН типа «Союз-2» со схожими компонентами ракетных топлив, для РП ОЧ в качестве первичных поражающих факторов являются: прямое попадание конструкции ОЧ, поражение ударной волной при наземном взрыве ОЧ; с остатками КРТ (керосин + жидкий кислород + пероксид водорода).

Исходя из опыта эксплуатации РН при аварии на активном участке полета, из вышеперечисленного спектра первичных поражающих факторов наиболее вероятными и важными по своим последствиям, в первую очередь для человека, можно считать:

- 1) прямое попадание аварийной РН или ее фрагментов;
- 2) воздействие ударной волны при взрыве КРТ при падении РН на землю с остатками топлива;
- 3) поражение продуктами сгорания при взрыве КРТ;
- 4) токсическое воздействие вследствие испарения проливов остатков КРТ.

В общем случае все эти поражающие факторы могут воздействовать совместно. При этом вероятность реализации, мощность и последствия воздействия каждого фактора определяются: условиями наступления аварии (время, высота, скорость и другие параметры полета РН, масса остатков компонентов топлива, причина отказа и др.); характером ее развития, а также конкретными характеристиками окружающей среды (ОС) в местах аварии и падения аварийного изделия.

Вне космодромов по трассе пуска наибольшую опасность могут представлять: падение фрагментов аварийной РН на населенный пункт; попадание

в потенциально опасный промышленный объект или значимый природный объект. Последствиями такой аварии теоретически может быть причинение ущерба здоровью людей, материального и/или экологического ущерба.

Результаты многолетних обследований РП первой ступени РН типа «Союз» при пусках с космодромов Байконур, Плесецк и Восточный показывают, что падение ББ в отведенный РП происходит практически без разрушений на пассивном участке полета. В результате соударения ББ с поверхностью земли происходит деформирование конструкции, которое приводит к смешению керосина и перекиси и, как следствие, к небольшому взрыву и локальному пожару в районе хвостового отсека. При падении блоки претерпевают разрушения различной степени, обычно баки окислителя частично деформируются, а баки горючего разрушаются; небольшая оставшаяся часть несгоревших и непрореагировавших во взрыве остатков горючего выбрасывается на землю. Двигательные установки сильно деформируются. Блок в основном лежит компактно, редко отдельные фрагменты могут разлетаться в радиусе до 100 м (рис. 2).

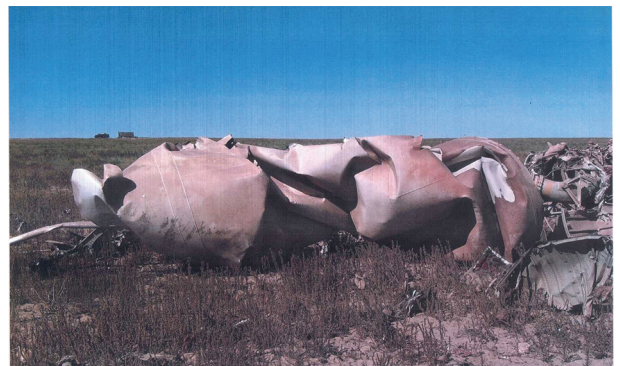


Рис. 2. Боковой блок 1 ступени

Для населения безопасность трассы для годовой программы пусков РН оценивается по следующим показателям:

максимальный потенциальный риск по трассе — по максимальной вероятности поражения аварийным изделием человека при условии его нахождения непосредственно на трассе пуска РН (нулевое боковое удаление от трассы) или в РП ОЧ;

индивидуальный риск в населенных пунктах — по вероятности поражения аварийным изделием человека, находящегося в конкретном населенном пункте вблизи трассы или РП ОЧ.

На примере прогноза возникновения чрезвычайных ситуаций на территории трассы пуска ракеты-носителя «Союз-2.1б» с РБ «Фрегат-М» при запуске 36 КА «Ван Вэб» с космодрома Восточный 25.03.2021 г. (рис. 3 и 4) кратко опишем современное состояние проблемы.

Определим основные поражающие факторы при пуске РН «Союз» в аварийных ситуациях.

Воздействие аварийного изделия на окружающую среду аналогично воздействию при падении ОЧ РН в РП. Однако степень воздействия из-за более значительного объема остатков компонентов ракетного



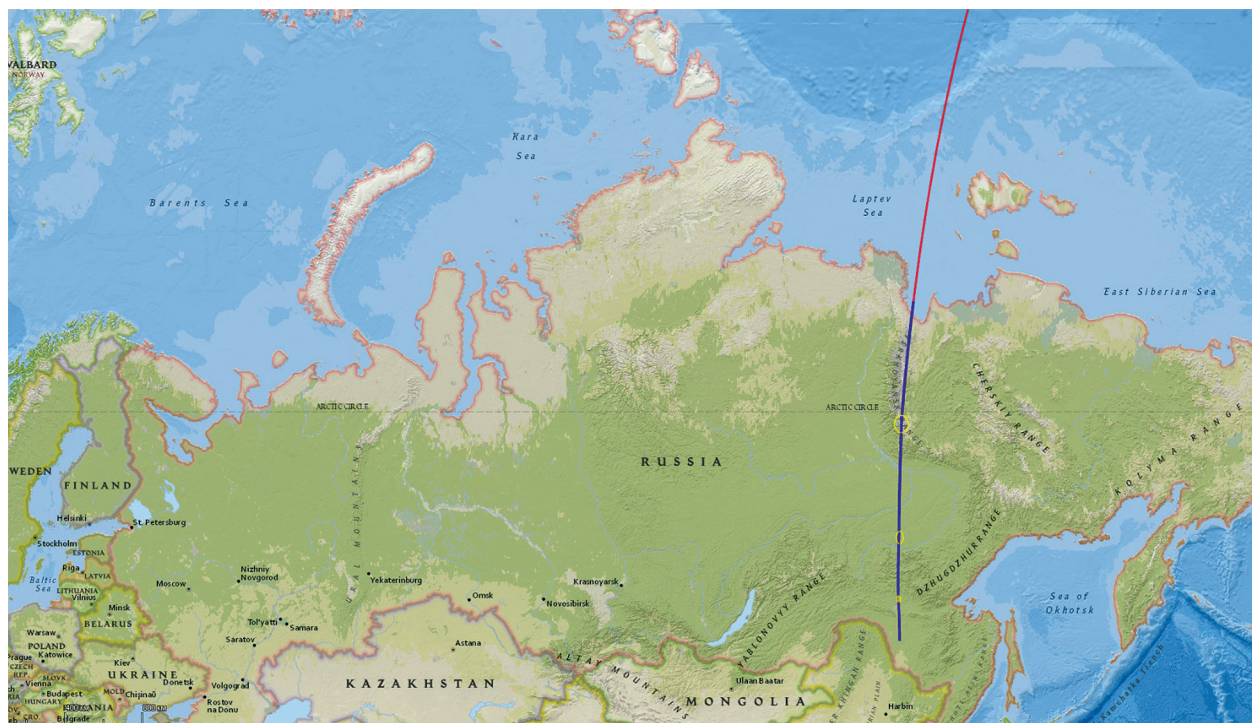


Рис. 3. Трасса пуска РКН «Союз-2.16» с КА «Ван Вэб» с наклоном орбиты 87,4 град.

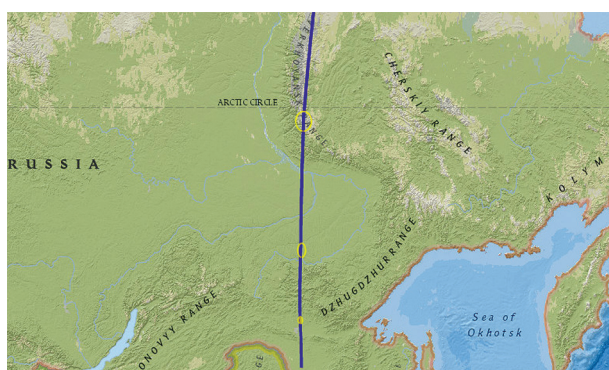


Рис. 4. Районы падения ОЧ для РКН «Союз-2.16» с КА «Ван Вэб» с наклоном орбиты 87,4 град.

топлива (по сравнению с остатками топлива в ОЧ РН), а также непредсказуемости места аварии может оказаться гораздо сильнее.

В качестве расчетных случаев при определении границ зон поражения целесообразно принимать:

для поражения прямым попаданием аварийным изделием или его фрагментами — максимальный линейный размер РН или фрагмента на момент аварии;

для взрыва — избыточное давление, приводящее к поражению людей или повреждению зданий, сооружений;

для воздействия продуктов испарения топлива — зону с превышением предельно допустимой концентрации (ПДК) паров компонентов топлива при полном их испарении без горения и самонейтрализации.

В общем случае все эти факторы могут воздействовать совместно. Однако вероятность реализации, мощность и последствия воздействия каждого фактора во многом определяются условиями наступления отказа (высота, скорость, масса остатков компонентов топлива

и другие параметры полета РН, причина отказа и др.), а также конкретными условиями в месте падения аварийного изделия.

Наиболее опасными по своим последствиям являются отказы в момент старта и на начальном этапе полета РН с большим запасом КРТ на борту. Такие отказы могут сопровождаться взрывом большой мощности, сильным пожаром, тепловым излучением, химическим заражением и другими факторами, приводящими к разрушению стартового комплекса и гибели людей. Однако такие аварии происходят вблизи стартового комплекса на территории космодрома, где должны приниматься специальные меры безопасности, в том числе для обслуживающего персонала.

В случае аварии на достаточном удалении от точки старта наиболее вероятным является фактор поражения фрагментами, поскольку падение фрагментов аварийного изделия на поверхность земли является практически достоверным событием, реализующимся в той или иной степени при любых сценариях развития аварийной ситуации. Более того, для отказов на вторых и последующих ступенях падение фрагментов можно считать практически единственным возможным первичным фактором поражения. Так, при двух авариях РН «Протон» в 1999 г., произошедших на участке работы второй ступени (277 и 222 с), в результате исследований мест падения фрагментов РН компоненты токсичных КРТ были обнаружены лишь в 1–2% проб и в концентрациях, не превышающих ПДК. Имели место вторичные пожары на местности, вызванные падением горячих фрагментов. В то же время число только обнаруженных упавших фрагментов при одном пуске достигало свыше 120, в том числе несколько фрагментов упало на территории населенных пунктов. Один из наиболее крупных

фрагментов (часть силового конуса 2-й ступени) упал во двор дома.

Количество и качество фрагментов, достигающих поверхности земли при аварии РН, являются вероятностными величинами. Можно говорить о корреляции среднего числа фрагментов и момента отказа (или дальности падения аварийного изделия), поскольку момент отказа определяет траекторию последующего падения РН и степень его разрушения вследствие воздействия различных нерасчетных нагрузок. Можно сделать следующие количественные предположения для проведения ориентировочных оценок.

1. При аварии на начальном этапе полета (на участке работы 1 ступени или до  $\sim 1000$  км по дальности) разрушение может происходить в основном вследствие нерасчетных механических нагрузок без сильного и длительного аэродинамического воздействия, поэтому РН разрушается на крупные фрагменты вероятней всего по линиям технологического членения. Такими фрагментами могут быть ступени или составные блоки ступеней, разгонные блоки, КА. Число фрагментов, достигающих поверхности земли, может составлять от 1 (целая РН) до нескольких единиц (по числу основных блоков РН — ступеней, РБ, КА). Характерные размеры фрагментов: от нескольких десятков метров (целая РН) до нескольких метров (диаметр ступени).

2. При отказах на участке работы второй ступени может происходить интенсивное разрушение РН. В диапазоне скоростей входа в плотные слои атмосферы  $\sim 2000$ – $5000$  м/с разрушение РН переходит стадии от маловероятной до гарантированной. Число фрагментов может достигать свыше ста (по результатам аварии РН «Протон» в 1999 г. только обнаруженных фрагментов  $\sim 120$ ). При этом наибольшее число должны составлять фрагменты среднего и малого размера. Число наиболее крупных фрагментов (характерные размеры порядка до нескольких метров — диаметр ступени) так же незначительно (до нескольких единиц).

3. При отказах на участке работы третьей ступени при параметрах траектории, близких к орбитальным, возможны практически полное разрушение и сгорание конструкции РН в плотных слоях атмосферы. Поверхности земли могут достигать отдельные элементы конструкции (камеры сгорания ДУ, ТНА, шаробаллоны, сильфоны, газоотражатели и т. д.) из жаропрочных сплавов, а также отдельные элементы шпангоутов, обечаек и т. п.

Так, падение РН «Союз-2» при аварии 23.12.2011 с КА «Меридиан» происходило с высоты  $\sim 216$  км при скорости 5300 м/с. В результате было обнаружено лишь несколько фрагментов. Можно полагать, что часть фрагментов не была найдена, остальная часть конструкции сгорела при входе в атмосферу. 24 августа при пуске ракеты-носителя «Союз» с транспортным космическим кораблем «Прогресс М-12М» на 325-й секунде полета произошло нарушение работы двигательной установки третьей ступени ракеты-носителя, что привело к аварийному отключению двигателя. В результате более чем недельных поисков было

обнаружено три небольших фрагмента. Необходимо отметить, что поиски происходили в условиях горно-таежной местности.

Менее вероятным фактором является поражение вследствие взрыва аварийной РН при падении на земную поверхность. Необходимым условием для этого является падение на поверхность земли аварийной РН с остатками непрореагировавшего топлива и самовоспламенение этих остатков в результате смешивания при деформации и разрушении конструкции. Наименее вероятным поражающим фактором следует считать воздействие токсичных остатков топлива вследствие их пролива на землю и/или испарения, поскольку дополнительно к условию падения на землю неразрушенной РН с остатками топлива необходимо условие раздельного пролива компонентов топлива, что при аварии представляется событием маловероятным, хотя и возможным.

Необходимо отметить также, что первые два поражающих фактора (попадание и взрыв) действуют в течение короткого промежутка времени (практически мгновенно). Другие опасности (воздействие продуктов испарения, проливов и горения) характеризуются существенно более длительным периодом распространения и постепенностью воздействия, которые зависят от большого количества факторов, в том числе характеристик окружающей среды (состояния атмосферы, почвы и др.). В связи с этим создаются предпосылки для возможности предупреждения и уменьшения последствий данного воздействия с использованием специальных сил и средств (нейтрализация проливов и фрагментов, детоксикация грунта, пожаротушение, эвакуация населения, применение индивидуальных защитных средств и т. д.).

Для максимальной стартовой заправки РН типа «Союз»  $\sim 280$  т безопасное расстояние для людей по воздействию УВВ на открытой местности составляет  $\sim 620$  м. При расчетах зон безопасности для различных моментов отказа учитывалось уменьшение запаса КРТ со временем.

В качестве основного поражающего фактора при аварии РН «Союз» на всех участках активного полета принималось поражение от прямого попадания аварийного изделия или его фрагментов. Факторы поражения от УВВ и токсичного заражения рассматривались как дополнительные лишь на участке полета первой ступени.

Максимальная потенциальная вероятность попадания в зону поражения аварийного изделия при единичном пуске для точечных объектов (например, для человека) — индивидуальные риски поражения на трассе пуска (нулевое боковое отклонение), достигаются вблизи ТС и вблизи РП первой и второй ступеней.

Максимальные риски поражения человека прямым попаданием аварийного изделия или его фрагментами вблизи ТС оцениваются величиной  $\sim 6,5 \cdot 10^{-6}$  вблизи РП  $\sim 4,2$ – $1,1 \cdot 10^{-7}$ ; риски попадания в зону поражения взрывной волной составляют, соответственно:  $6,8 \cdot 10^{-5}$  и  $2,4 \cdot 10^{-6}$ .



Максимальные риски попадания человека в зону концентрации продуктов испарения компонентов КРТ с превышением ПДК рабочей зоны составляют: вблизи ТС ~ 3,3·10<sup>-4</sup>, на удалении ~400 км ~ 2,0·10<sup>-8</sup>.

Таким образом, на всем протяжении трассы, за исключением начального участка длиной ~40 км (находящегося в пределах космодрома), индивидуальный потенциальный риск не превышает, а в основном значительно ниже величины 10<sup>-6</sup>, которая принимается за уровень приемлемого риска, не требующего принятия дополнительных мер обеспечения безопасности.

В заключение отметим, что в настоящее время актуальными являются вопросы:

моделирования и методик прогнозирования, мониторинга и оценки рисков чрезвычайных ситуаций, возникающих при нештатных запусках космических аппаратов и пусках ракет с космодромов;

методических рекомендаций для федеральных органов исполнительной власти и субъектов Российской Федерации трассовых территорий по разработке планов развертывания сил и средств РСЧС в случае возникновения чрезвычайных ситуаций, включая разработку типовых планов реагирования при нештатных запусках космических аппаратов и пусках ракет;

методических рекомендаций для территориальных подсетей СНЛК ГО и ЗН субъектов Российской Федерации трассовых территорий при нештатных запусках космических аппаратов и пусках ракет.

Отдельным вопросом целесообразно рассмотреть взаимодействие и информационно-техническое сопряжение средств ЦУП АО «ЦНИИмаш» со средствами Главного управления «НЦУКС» МЧС России, ЦППР ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ) по выделенным каналам связи при нештатных запусках космических аппаратов и пусках.

### Литература

1. Авдошкин В. В. и др. Проблемные вопросы использования трасс запусков космических аппаратов и районов падения отделяющихся частей ракет космического назначения. СПб.: Изд-во: Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского, 2016. 372 с.
2. Колядо И. Б., Плугин С. В., Шойхет Я. Н. Опыт изучения здоровья населения территорий Алтайского края, прилегающих к районам падения отделяющихся частей ракет-носителей // Бюллетень науки и практики. 2019. Т. 5. № 12.
3. Колядо И. Б., Плугин С. В., Горбачев В. Н. Результаты медицинского обследования жителей Краснощековского района Алтайского края, прилегающего к зоне ракетно-космической деятельности // География и природопользование Сибири. 2019. № 26. С. 84.
4. Лебедев М. Ю., Бакин Э. Н. Характеристика системы обеспечения экологической безопасности космодрома «Плесецк» и факторов, влияющих на ее организацию // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2019. Т. 1. № 10. С. 219–221.
5. Мочалова С. М. Анализ космодрома как источника воздействия на окружающую среду // Гагаринские чтения-2018. 2018. С. 96–97.
6. Филиппов В. Л. и др. Актуальность оценки фонового состояния здоровья в обеспечении медико-биологической безопасности населения, проживающего на территории, прилегающей к космодрому Восточный // Амурский медицинский журнал. 2018. № 3 (23).
7. Шатров Я. Т. Развитие исследований по выбору трасс пусков и районов падения отделяющихся частей ракет-носителей в целях обеспечения экологической безопасности // Космонавтика и ракетостроение. 2017. № 1. С. 117–126.
8. Golubev A. et al. Analysis of Ballistic Aspects in the Combined Method for Removing Space Objects From the Near Earth Orbits // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2019. Vol. 2. No. 5. P. 49–54.
9. Jackson N. J. Outer space in Russia's security strategy // Routledge Handbook of Russian Security. Routledge, 2019. P. 227–237.
10. Kozlov I. et al. Modern approaches to rocket propellant disposition // AIP Conference Proceedings. AIP Publishing LLC, 2019. Vol. 2171. No. 1. P. 040006.
11. Lapkhanov E. O. Features of the Development of Means for spacecraft removal from near-earth operational orbits // Technical mechanics. 2019. No. 2. P. 16–29.
12. Skobelev P., Lakhin O. I. Towards the digital platform and smart services for managing space traffic // Management and Applications of Complex Systems. 2019. P. 23.

### Сведения об авторе

**Рожко Олег Игоревич:** к. полит. н., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), с. н. с. науч.-исслед. центра. Москва, Россия. e-mail: rozhkoo@mail.ru SPIN-код: 6402-3960.

### Information about author

**Rozhko Oleg I.:** PhD (Political Sc.), All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies, Senior Researcher, Research Center. Moscow, Russia. e-mail: rozhkoo@mail.ru SPIN-scientific: 6402-3960.

## Издания ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ)

Авторы, название	URL
Мошков В. Б. и др. I Международная научно-практическая конференция по развитию робототехники в области обеспечения безопасности жизнедеятельности «RoboEmercom»	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=47781245">https://elibrary.ru/item.asp?id=47781245</a>
Азанов С. Н. и др. Перспективы развития единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=47436936">https://elibrary.ru/item.asp?id=47436936</a>
Акимов В. А. и др. Исследование чрезвычайных ситуаций природного, техногенного и биолого-социального характера современными научными методами	<a href="https://elibrary.ru/item.asp?id=47429574">https://elibrary.ru/item.asp?id=47429574</a>