

8 February 2019

English/Russian

---

**Committee on the Peaceful  
Uses of Outer Space  
Scientific and Technical Subcommittee  
Fifty-sixth session  
Vienna, 11–22 February 2019  
Item 7 of the provisional agenda\*  
Space debris**

**Research on space debris, safety of space objects with  
nuclear power sources on board and problems relating to  
their collision with space debris**

The present conference room paper contains submissions received by the Secretariat from the Russian Federation on 31 January 2019 in Russian.

The document is issued without formal editing.

---

\* [A/AC.105/C.1/L.373](#).



## **Russian Federation**

### **DRAFT REPORT ON RESEARCH RELATING TO SPACE DEBRIS, INCLUDING INFORMATION ON MEASURES TO ENSURE THE SAFETY OF SPACE OBJECTS WITH NUCLEAR POWER SOURCES ON BOARD**

#### **National research on space debris modelling and the protection of space objects from space debris and micrometeoroids**

In 2018, an assessment of flows of space debris and meteoroids in proximity to low- Earth orbits was carried out and proposals were drawn up for the continuous monitoring, using the contact method, of flows of space debris and micrometeoroids in those regions.

A method for assessing damage caused by meteoroid particles and fragments of space debris to unmanned spacecraft used for various purposes was verified and validated, including on the basis of test data on the effects of high-speed collision of simulants of meteoroid particles and space debris fragments with spacecraft components. It should be noted that, at present, the vast majority of test results concern the International Space Station and apply only partially to unmanned spacecraft.

#### **National research on space debris monitoring and operation of the Automated Warning System for Hazardous Situations in Near-Earth Space**

On 1 January 2016, an automated warning system for hazardous situations in near-Earth space, developed as part of the Federal Space Programme and under contract with Roscosmos, was launched. The system is the world's first civilian system for monitoring near-Earth space, and was established as part of a project funded wholly by the State.

The system is intended to ensure the safety of space operations carried out by Russian spacecraft under conditions influenced by the human-made pollution of near-Earth space, issue warnings of hazardous situations in near-Earth space to users and support activities carried out to ensure the compliance of the Russian Federation with its international obligations in relation to space debris.

The main tasks carried out by the system are as follows:

- The monitoring of near-Earth space and the recording of information on space objects;
- The detection and analysis of hazardous situations in near-Earth space, including the conjunction of space objects with satellites belonging to the orbital constellation of the Russian Federation, the uncontrolled re-entry of high-risk space objects into the Earth's atmosphere and the destruction of space objects;
- The monitoring and evaluation of the results of operations to remove spent stages of carrier rockets, boosters and spacecraft to a disposal orbit or limited lifetime orbit.
- The communication of information on hazardous situations in near-Earth space and on the predicted development of such situations to users.

The system comprises special electro-optical units that monitor near-Earth space at all altitudes and inclinations of space objects and centres for the processing and analysis of information.

By the end of 2018, the electro-optical units had conducted more than 14.4 million measurements of the position and brightness of space objects in various orbits. Within the year, as a result of the work carried out jointly by the system and organizations of the Russian Academy of Sciences, industrial enterprises and higher education institutions, more than 1,460 previously unknown space debris objects were discovered in high orbits (geostationary, highly elliptical and medium-altitude near-circular orbits). This outcome was achieved solely on account of the establishment and introduction of new methods of using electro-optical equipment

and of processing and analysing the measurement information obtained. A total of 21,500 space objects were recorded in the system database, including more than 19,000 space debris objects. Unique information on more than 4,400 space objects discovered and regularly monitored by civilian electro-optical monitoring systems of the Russian Federation is published regularly on a dedicated website with the aim of providing researchers from different countries with the possibility of conducting more in-depth analysis of the real situation in near-Earth orbits. No other State provides the international community with information on those objects.

In the past year, the Automated Warning System has made it possible to monitor and analyse the transfer of 11 satellites to a disposal orbit. The analysis and prediction of the parameters for uncontrolled re-entry into the Earth's atmosphere was conducted in respect of 92 space objects. A total of 69 breaches of the four-kilometre safety zone of the International Space Station and 1,592 conjunctions of space debris objects at a distance of less than 1.5 km from satellites of the Russian Federation were detected. Warnings of dangerous conjunctions of space debris objects with satellites were issued in a timely manner to the Mission Control Centre and to Russian satellite operators.

The Automated Warning System was the first among existing systems for monitoring near-Earth space to detect the two most significant break-ups of space objects in recent years. Moreover, both of those events took place in high orbits that are extremely difficult to monitor (the geostationary orbit and the geosynchronous transfer orbit). The system collected a large amount of information that made it possible to assess the nature and consequences of the break-ups. The first was the break-up on 28 February 2018 of the United States Transtage 17 stage (international designator 1969-013B), as a result of which a large number of space debris fragments — more than 140 of which were discovered using Russian civilian monitoring tools — were generated in proximity to the geostationary orbit. The second was the break-up on 30 August 2018 of the United States Centaur stage (international designator 2014-055B) in the geosynchronous transfer orbit at an altitude of 8,202 x 35,181 km and an inclination of 22.24°. This event led to an immediate increase by more than 25 per cent in the number of space debris objects tracked in geosynchronous transfer orbits. More than 570 fragments resulting from the break-up are currently being tracked using the electro-optical tools of the Automated Warning System and of various Russian organizations.

The Automated Warning System, in close collaboration with the monitoring system operated by the Ministry of Defence, ensures the participation of the Russian Federation in international test campaigns involving the tracking of hazardous space objects that have unexpectedly ceased to function in orbit.

The establishment of the Automated Warning System has enabled Roscosmos to obtain on a regular basis objective information on the real situation in the geostationary orbit region, in orbits used by global navigation satellite systems and in highly elliptical orbits. For the first time in the history of the creation and development of systems for monitoring near-Earth space, the feasibility of promptly detecting and characterizing a large number of fragments resulting from break-ups in high orbits has been proven.

Roscosmos is continuing to prepare a freely accessible Internet service providing the results of monitoring of near-Earth space obtained through the Automated Warning System.

The Automated Warning System is being further developed under the Federal Space Programme for 2016–2025. The Programme provides for the modernization of existing electro-optical equipment and the creation of new monitoring tools, including tools for monitoring the radio emissions of space objects, and significant improvement in the quality of the processing and analysis of measurement and orbital information.

**Participation of the Russian Federation in an international test campaign for monitoring “space objects of risk” leaving near-Earth orbits**

An international test campaign to monitor the deorbiting of “space objects of risk”, the twenty-second of its kind, was held from 15 February to 2 April 2018 under the auspices of the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee (IADC).

The Committee’s Steering Group approved the Chinese orbital station Tiangong-1 (international designator 2011-053A) as the test space object for the purposes of the campaign. Tiangong-1 was launched on 30 September 2011 at 03:16:03 hours UTC from the Jiuquan launch site with a modernized Chang Zheng-2F carrier rocket (CZ-2F T1).

During the campaign, the Russian Federation was represented by Roscosmos and the Automated Warning System, the Outer Space Monitoring System of the Ministry of Defence and the electro-optical tools of various Russian organizations for the monitoring of near-Earth space were used. As part of the campaign, the Russian Federation contributed 140 sets of measurement data in two-line element format to the database of the Inter-Agency Space Debris Coordination Committee for use by all participants, those data including the only measurement obtained by participants in relation to the station’s final orbit. The Russian Federation also provided 17 predictions with regard to the descent of Tiangong-1.

According to the data of the Russian Federation, the space object ceased to exist between 00:45 and 00:56 hours UTC on 2 April 2018 (the central point of the time window for re-entry was 00:50 UTC on 2 April 2018 and the coordinates were 8.2°S and 342.7°W).

**Monitoring of conjunctions, risk assessment and manoeuvres carried out by the International Space Station to avoid collision with space debris objects**

From January to October 2018, the Ballistics and Navigation Service of the Central Engineering Research Institute’s Mission Control Centre received alerts from the NASA Johnson Space Center warning of the likelihood of breaches of the safety zone of the International Space Station by 21 “space objects of risk”, including a warning that the zone would be breached at  $\pm 0.75$  km vertically, a distance of  $\pm 25$  km along the Station’s orbital path and at  $\pm 25$  km laterally, and that the probability of collision was  $P_c > 10^{-6}$ . In total, some 75 alerts were received.

On the basis of analysis of all of the information available to the Mission Control Centre in relation to the space objects of risk, six of those objects were identified during the early stages of their tracking as being in danger of committing critical breaches of the International Space Station safety zone, as a result of which avoidance manoeuvres would be required. In the process of further clarifying the orbital information relating to those objects, it was determined that avoidance manoeuvres to prevent possible collision were not needed.

The most recent manoeuvre of the International Space Station to avoid collision with a space object of risk was performed on 27 September 2015 using the engines of the Progress M-28M cargo spacecraft.

**Information on the safety of space objects with nuclear power sources on board and problems relating to the collision of such objects with space debris**

Nuclear energy can ensure the performance of a wide range of future tasks in near-Earth and deep space requiring a large power supply and transform the development of space activities. The Russian Federation has experience in the successful establishment and safe operation of space objects with radioisotope power systems and reactor systems.

One of the key problems posed by space objects with nuclear power sources on board is nuclear and radiation safety throughout the life cycle of those objects. The Safety Framework for Nuclear Power Source Applications in Outer Space states that safety

should be considered from the earliest stages of design of nuclear power sources and spacecraft on the basis of the Framework.

A modern approach to ensuring an adequate supply of power to spacecraft intended for assignments relating to the exploration of near-Earth space, the study of distant planets of the solar system and the supply of power to unmanned and manned stations on the surface of other celestial bodies requires the use of nuclear power sources, including reactor nuclear power installations. The use of space nuclear power sources offers a number of indisputable technical advantages over other types of spacecraft power source.

Those advantages include the possibility of ensuring high output capacity in relatively small power units and ensuring power supply irrespective of orbital position and distance from the Sun, unlike solar power installations.

However, the use of nuclear power sources, including reactor installations as on-board power sources, requires measures to ensure the nuclear and radiation safety of the population and the environment through the use of special technical equipment and the appropriate design of nuclear power installations. The condition of nuclear reactors and the radioactive materials they contain must also be assessed if spacecraft are struck by other objects.

The most dangerous emergency situations involving space nuclear power installations would be limited mainly to the impact of another object on the nuclear reactor and subsequent partial or catastrophic damage to the spacecraft.

If a carrier rocket were to explode at launch, the “cold” reactor, which would not yet be radioactive, would be bombarded by fragments of the rocket. If the engines of the first stage of a carrier rocket failed, the “cold” reactor within the nuclear power installation would fall to Earth.

An accident involving a nuclear power installation might also be caused by the presence of a large number of space debris objects in orbit. Collisions with such objects may cause localized damage to the reactor, breakdown of the cooling circuit, catastrophic damage to the craft, premature descent from radiation-safe orbit and the fall of the object to Earth, as well as damage to the spacecraft navigation system or nuclear power unit control system, with implications for nuclear and radiation safety.

Localized or catastrophic damage to the reactor may lead to the release of radioactive particles into near-Earth space or the entry of such particles into the Earth's atmosphere.

Breakdown of the main cooling circuit would inevitably cause the nuclear power unit to fail. In the case of nuclear power units with gas coolant, a breakdown could lead to the loss of thrust vector control, which in turn could lead to uncontrolled flight of the spacecraft.

In order to develop procedures and tools for ensuring the safety of space nuclear power sources, work is being carried out on the modelling of breakdowns of space nuclear power units as a result of collision with other objects and the prediction of radiation effects.

## **ПРОЕКТ ДОКЛАДА**

### **ОБ ИССЛЕДОВАНИЯХ ПО ТЕМАТИКЕ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА, ВКЛЮЧАЯ СВЕДЕНИЯ О МЕРАХ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ С ЯДЕРНЫМИ СИЛОВЫМИ УСТАНОВКАМИ НА БОРТУ**

#### **Национальные исследования по вопросам моделирования космического мусора и защищенности космических аппаратов от космического мусора и микрометеороидов**

В 2018 г. проведена оценка потоков космического мусора и метеороидов в области низких околоземных орбит и разработаны предложения по непрерывному мониторингу потоков космического мусора и микрометеороидов в области низких околоземных орбит контактным методом.

Проведена верификация и валидация методики оценки повреждений конструкций автоматических космических аппаратов (АКА) различного целевого назначения в результате воздействия метеороидных частиц и частиц космического мусора, также валидация методики на основе экспериментальных данных по воздействию высокоскоростного соударения имитаторов метеороидных частиц и частиц космического мусора (КМ) с компонентами космического аппарата (КА). Следует отметить, что в настоящее время подавляющее большинство экспериментальных результатов относится к конструкции Международной космической станции (МКС) и могут использоваться для АКА лишь частично.

#### **Национальные исследования по вопросам наблюдения космического мусора и эксплуатация Автоматизированной системы предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве**

С 1 января 2016 года введена в эксплуатацию Автоматизированная система предупреждения об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве (АСПОС ОКП), разработанная в рамках Федеральной космической программы по контракту с Госкорпорацией «Роскосмос». АСПОС ОКП является первой в мире гражданской системой мониторинга околоземного космоса, созданная в рамках проекта, полностью финансируемого государством.

АСПОС ОКП предназначена для обеспечения безопасности космических операций, проводимых российскими КА в условиях техногенной засоренности околоземного космического пространства (ОКП), формирования предупреждений об опасных ситуациях в околоземном космическом пространстве и выдачи их потребителям, а также поддержки решения задач по обеспечению выполнения международных обязательств Российской Федерации по проблемам космического мусора.

Основными задачами АСПОС ОКП являются:

- мониторинг ОКП и каталогизация информации о космических объектах;
- выявление и анализ опасных ситуаций в ОКП, включая сближения космических объектов с сопровождаемыми КА российской орбитальной группировки, неуправляемые возвращения космических объектов повышенного риска в атмосферу Земли, разрушения космических объектов;
- мониторинг и оценка результатов операций по уводу отработавших ступеней ракет-носителей (РН), разгонных блоков (РБ) и КА в зоны «захоронения» или на орбиты с ограниченным сроком существования;
- доведение до потребителей информации о фактах возникновения и прогнозе развития опасных ситуаций в ОКП.

В составе АСПОС ОКП имеются специализированные оптико-электронные комплексы, осуществляющие мониторинг ОКП во всем диапазоне высот и наклонений космических объектов, и центры обработки и анализа информации.

По итогам 2018 г. специализированные оптико-электронные комплексы провели более 14.4 млн измерений положения и яркости космических объектов на различных орбитах. За год благодаря совместной работе АСПОС ОКП и организаций Российской академии наук, предприятий промышленности, высших учебных заведений было обнаружено более 1460 новых, ранее не известных, объектов космического мусора на высоких орбитах (геостационарной, высокоэллиптических и средневысоких околокруговых). Этот результат был достигнут исключительно за счёт создания и внедрения новых методов управления оптико-электронными средствами и новых методов обработки и анализа получаемой измерительной информации. В базе данных АСПОС ОКП каталогизировано 21,5 тыс космических объектов, из них более 19 тыс. объектов космического мусора. Уникальная информация по более чем 4400 космических объектов, обнаруженных и регулярно наблюдаемых российскими гражданскими оптико-электронными комплексами мониторинга, регулярно публикуется на специальном веб-сайте с целью предоставить исследователям из разных стран возможность проведения более глубокого анализа реальной ситуации на околоземных орбитах. Информация по этим объектам не предоставляется международному сообществу каким-либо другим государством.

В прошедшем году АСПОС ОКП обеспечила мониторинг и анализ операций увода на орбиту захоронения по 11 космическим аппаратам. Для 92 космических объектов проведена работа по анализу и прогнозированию параметров неконтролируемого входа в атмосферу Земли. Выявлено 69 нарушений 4-километровой зоны безопасности МКС и 1592 случая сближений объектов космического мусора на расстоянии менее 1,5 км от КА Российской Федерации. Информация предупреждения об опасных сближениях объектов космического мусора с космическими аппаратами своевременно выдавалась в центр управления полетом и российским операторам космических аппаратов.

АСПОС ОКП первой среди существующих систем мониторинга ОКП выявила два самых значительных за последние годы разрушения космических объектов, причём оба – на чрезвычайно сложных для мониторинга высоких орбитах (геостационарной и геопереходной), и собрала большой объём информации, позволяющий оценить характер и последствия разрушений. Первое – разрушение 28 февраля 2018 г. американской ступени Транстейдж 17 (международное обозначение 1969-013В), в результате которого в геостационарной области образовалось большое количество фрагментов космического мусора, более 140 из которых были обнаружены российскими гражданскими средствами мониторинга. Второе – разрушение 30.08.2018 г. американской ступени «Центавр» (международное обозначение 2014-055В) на геопереходной орбите высотой 8202x35181 км и наклонением 22.24°. Это событие привело к мгновенному увеличению более чем на четверть количества объектов космического мусора, отслеживаемых на геопереходных орбитах. В настоящее время оптико-электронными средствами АСПОС ОКП и различных российских организаций отслеживается более 570 фрагментов этого разрушения.

АСПОС ОКП в тесном сотрудничестве с системой мониторинга, эксплуатируемой Министерством обороны России, обеспечивает российское участие в международных тестовых кампаниях по сопровождению опасных космических объектов, неконтролируемо прекращающих свое существование на орбите.

Создание АСПОС ОКП позволило Госкорпорации «Роскосмос» на регулярной основе получать объективную информацию о реальной ситуации в области геостационарной орбиты, области орбит ГНСС и на высоких эллиптических

орбитах. Впервые в мировой истории создания и развития систем мониторинга ОКП продемонстрирована практическая возможность обнаружения и характеристики за короткий промежуток времени большого количества фрагментов разрушений на высоких орбитах.

Госкорпорация «Роскосмос» продолжает подготовку сервиса по предоставлению результатов мониторинга ОКП средствами АСПОС ОКП в открытом доступе через Интернет.

Дальнейшее развитие АСПОС ОКП осуществляется в рамках Федеральной космической программы на 2016-2025 годы. Программа предусматривает модернизацию существующих оптико-электронных средств и создание новых средств мониторинга, в т.ч. средств мониторинга радиоизлучений космических объектов, а также значительное повышение качества обработки и анализа измерительной и орбитальной информации.

#### **Участие Российской Федерации в международной тестовой кампании по контролю сходящего с околоземной орбиты космического объекта риска**

В период с 15 февраля по 2 апреля 2018 г. под эгидой Межагентского координационного комитета по космическому мусору (МККМ) была проведена тестовая кампания МККМ 2018/1. Это была 22-я по счету международная кампания по сопровождению схода с орбиты так называемых «КО риска».

В качестве тестируемого космического объекта для данной кампании Управляющей группой МККМ была утверждена китайская орбитальная станция (ОС) «Тяньгун-1» (международное обозначение 2011-053A), выведенная на орбиту 30.09.2011 в 03:16:03 UTC с космодрома Цзюцюань с помощью модернизированной РН «Чанчжэн-2F» (CZ-2F T1).

С российской стороны тестовую кампанию возглавляла Госкорпорация «Роскосмос». В тестовой кампании были задействованы возможности АСПОС ОКП и Системы контроля космического пространства Министерства обороны России, а также привлекаемых оптико-электронных средств мониторинга ОКП российских организаций. В рамках кампании в базу данных МККМ российской стороной для совместного использования всеми участниками кампании было помещено 140 комплектов измерительных данных в формате TLE, в том числе единственное измерение, полученное участниками кампании на последнем витке орбитального существования станции. Также российская сторона предоставила 17 решений с прогнозом падения ОС «Тяньгун-1».

По данным российской стороны, космический объект прекратил своё существование 2 апреля 2018 г. в интервале от 00:45 до 00:56 UTC (центральная точка «окна падения» – 2 апреля 2018 г. в 00:50 UTC, координаты 08,2° ю.ш., 342,7° з.д.).

#### **Контроль сближений, оценка риска и выполнение маневров уклонения МКС от столкновений с объектами космического мусора**

В период с января по октябрь 2018 г. в российскую баллистико-навигационную службу (БНС) ЦУП ФГУП ЦНИИмаш (ЦУП-М) из центра имени Л.Джонсона национального аэрокосмического агентства США (NASA) (ЦУП-Х) поступили предупреждения о прогнозируемых нарушениях зоны безопасности МКС двадцатью одним «КО риска», то есть либо прогнозировалось нарушение зоны безопасности МКС, определяемой в точке максимального сближения границами  $\pm 0,75$  км,  $\pm 25$  км и  $\pm 25$  км по высоте, вдоль орбиты и в боковом направлении соответственно, либо вероятность столкновения оценивалась величиной  $P_s > 10^{-6}$ . Всего было получено порядка 75 уведомлений.

По результатам анализа всей информации, которой располагал российский ЦУП МКС по «КО риска», критические нарушения зоны безопасности МКС, требовавшие проведения маневров уклонения станции, на ранней стадии сопровождения были определены для шести «КО риска». В процессе уточнения



орбитальной информации по этим КО необходимость проведения манёвра уклонения станции от возможного столкновения не подтвердилась.

Последнее уклонение МКС от возможного столкновения с «КО риска» было проведено 27 сентября 2015 г. с использованием двигателей ТГК «Прогресс М-28М».

### **Информационные материалы по вопросам безопасности космических объектов с ядерными источниками энергии на борту и проблемам столкновения таких объектов с космическим мусором**

Ядерная энергетика может обеспечить решение широкого круга перспективных энергоёмких задач в ближнем и дальнем космосе и выход на качественно новый уровень развития космической деятельности. Россия обладает успешным опытом по созданию и безопасной эксплуатации КА с ядерными источниками энергии различных типов: радиоизотопными и реакторными.

Для КА с ядерными источниками энергии на борту одной из ключевых проблем является ядерная и радиационная безопасность на всех этапах их жизненного цикла. Рамки обеспечения безопасного использования ядерных источников энергии в космическом пространстве предусматривают, что вопросы обеспечения безопасности должны учитываться уже на самых ранних этапах проектирования ядерных источников энергии и космических аппаратов на их основе.

Современный взгляд на обеспечение энергией КА, предназначенных для решения задач освоения ближнего космоса, исследования дальних планет Солнечной системы, энергоснабжения автоматических и обитаемых станций на поверхности других небесных тел, предполагает использование ядерных источников энергии (ЯИЭ), в том числе и реакторных ядерных энергетических установок (ЯЭУ). Использование космических ЯЭУ имеет ряд неоспоримых технических преимуществ по сравнению с другими типами источников энергии космических аппаратов.

К таким преимуществам относятся: возможность обеспечения больших мощностей в агрегатах сравнительно небольших габаритов, независимость, в отличие от энергоустановок на солнечных батареях, от положения на орбите и расстояния от Солнца.

Однако применение ядерных источников энергии, включая реакторные ядерные энергоустановки в качестве бортовых источников электропитания космических аппаратов, требует обеспечения ядерной и радиационной безопасности населения и окружающей среды за счет специальных технических средств и конструкции ЯЭУ. Требуется также оценивать состояние ядерного реактора и его радиоактивных материалов после аварий, связанных с ударным воздействием на конструкцию.

Наиболее опасные аварийные ситуации с космическими ЯЭУ сводятся, главным образом, к ударным воздействиям на конструкцию ядерного реактора с последующим частичным или катастрофическим разрушением конструкции.

Взрыв ракеты-носителя на старте приводит к «обстрелу» обломками ракеты «холодного» не наработавшего радиоактивность реактора. Следствием отказа двигателей первой ступени РН становится падение «холодного» реактора в составе ЯЭУ на поверхность Земли.

Возможность аварийной ситуации с ЯЭУ связаны с также и с наличием большого количества объектов КМ на орбитах. Столкновения с объектами КМ могут вызывать локальные повреждения реактора, пробой контура теплоносителя ЯЭУ, катастрофическое разрушение конструкции, досрочный спуск с радиационно-безопасной орбиты и падение на Землю, а также повреждения системы управления КА или ЯЭУ и связанные с этим последствия для ядерной и радиационной безопасности.

Локальные и катастрофические разрушения реактора могут привести к появлению радиоактивных частиц в ОКП или выпадению таких частиц на поверхность Земли.

Пробой основного контура теплоносителя неизбежно приводит к выходу ЯЭУ из строя. В случае же ЯЭУ с газовым теплоносителем пробой может вызвать появление постороннего вектора тяги, что, в свою очередь, может привести к неуправляемому полету КА с ЯЭУ.

Для отработки методов и средств обеспечения безопасности космических ЯЭУ в Российской Федерации проводится моделирование ударного разрушения космических ЯЭУ и прогнозирование радиационных последствий.

---