

21. Подрезов Ю.В. Особенности борьбы с наводнениями в современных условиях. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», №6 за 2017 год.

22. Агеев С.В., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Донцова О.С., Тимошенко З.В. Анализ статистических данных по наводнениям в Российской Федерации за период с 2012 по 2017 годы и меры МЧС России по реагированию на них в 2017 году. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2018.

23. Подрезов Ю.В. Современные способы и технологии защиты сельскохозяйственных культур от природных опасностей и чрезвычайных ситуаций. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 5 за 2018.

24. Подрезов Ю.В. Особенности возникновения и развития грозových и градовых процессов в атмосфере Земли. Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», № 1 за 2019.

### **Сведения об авторах**

**Агеев Сергей Владимирович** - начальник 5 научно - исследовательского центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), тел. (495)-449-99-58, 8-905-748-15-62; электронная почта: asvaser@yandex.ru

**Подрезов Юрий Викторович** - доцент, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); Москва, ул. Давыдовская, д.7, тел. (495) 449 90 25, заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). 8-903-573-44-84, E-mail: uvp4@mail.ru

**Романов Александр Семенович**, заместитель начальника 5 центра ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); тел.: 8-903-625-92-47; e-mail: romalsem@yandex.ru.

**Тимошенко Зинаида Владимировна** - научный сотрудник ВИНТИ РАН, 125190 ул. Усиевича, 20, тел. 8 (499) 155-44-26

УДК 621.039

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-01-13

## **РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ, АВАРИЙНОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ И РЕАГИРОВАНИЕ ПРИ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ДЕЙСТВИЯХ С РАДИОИЗОТОПНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ**

**Кандидат техн. наук Е.В. Попов, кандидат физ.-мат. наук В.А. Пантелеев, доктор техн. наук М.Д. Сегаль, С.Л. Гаврилов, С.А. Шикин, А.Е. Пименов**  
**Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН**

*Рассмотрены радиоизотопные приборы с источниками ионизирующего излучения, применяемые в медицине, промышленности, и других отраслях экономики, приведен обзор некоторых локальных инцидентов радиационного характера, обусловленных нарушениями правил обращения с этими источниками. Рассматривается ряд мер направленных на ликвидацию последствий радиологических аварийных ситуаций с такими источниками.*

*Рассмотрены вопросы, связанные с прогнозированием развития и оценкой последствий таких чрезвычайных ситуаций, в том числе с использованием методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ) для задач аварийного реагирования, планирования и управления рисками при инцидентах с выбросом радиоактивных веществ в атмосферу.*

**Ключевые слова:** источники ионизирующих излучений, радиологическая аварийная ситуация, безопасность, чрезвычайная ситуация, вероятностный анализ безопасности, риск, ВАБ-3 ОИАЭ.

## **RADIOLOGICAL CONSEQUENCES, EMERGENCY PLANNING AND RESPONSE DURING UNAUTHORIZED ACTIONS WITH RADIOISOTOPIC SOURCES OF IONIZING RADIATIONS**

**Ph.D. (Tech.) E.V. Popov, Ph.D. (Phys.-Mat.) V.A. Panteleev, Dr. (Tech.) M.D. Segal, S.L. Gavrilov, S.A. Shikin, A.E. Pimenov**  
**Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences**

*Radioisotope devices with ionizing radiation sources used in medicine, industry, and other sectors of the economy are considered, an overview of some local radiation incidents due to violations of the rules for handling these sources is given. A number of measures are being considered aimed at eliminating the consequences of radiological emergencies with such sources.*

*Issues related to forecasting the development and assessing the consequences of such emergencies, including using probabilistic safety analysis methods for the third level of nuclear facilities (PSA Level 3) for emergency planning and risk management in incidents involving the release of radioactive substances into the atmosphere, are considered.*

**Key words:** sources of ionizing radiation, radiation, safety, emergency, probabilistic safety analysis, risk, PSA Level 3.

Радиоизотопные приборы с источниками ионизирующего излучения (ИИИ) применяются с середины двадцатого века. Такие приборы применяются в различных отраслях народного хозяйства: в химической, пищевой и легкой промышленности, в металлургии, в медицине, при производстве строительных материалов, геологоразведке и на транспорте. Радиоизотопные приборы (РИП) подразделяют на приборы с гамма, бета, альфа и нейтронными источниками ионизирующего излучения. В России использовалось несколько сотен тысяч таких приборов с ИИИ уже к концу двадцатого века.

Источники ионизирующего излучения, применяемые в РИП, представляют значительную радиационную опасность и при обращении с этими источниками требуется строгое соблюдение требований безопасности. Наибольшее количество РИП, произведенных в России, содержат источники гамма излучения на основе радиоизотопов цезий-137 и кобальт-60. Такие ИИИ используются, например, в реле ГР-7 и уровнемерах УР-8. Они защищены, как правило, одной-двумя оболочками из нержавеющей стали толщиной 0,5-1 мм. При этом на поверхности блока УР-8 мощность экспозиционной дозы гамма излучения находится в пределах 3-10 Зв/ч, а на расстоянии одного метра от этого блока – 0,1-0,2 Зв/ч. Существуют и другие подобные приборы, относящиеся к источникам потенциальной опасности. К числу которых можно отнести: толщиномеры ИТУ, ИТШ-495, ТОР-1, ТОР-3; плотномеры ППП-2, ПР-1024; реле ГР-6, ГР-8, РРП-3, РРИВТ-1, РРП-3М; нейтрализаторы

ры НСЭ-200, НСЭ-400 и другие приборы с ИИИ. У таких приборов на поверхности их блоков мощность экспозиционной дозы гамма-излучения может составлять 0,8-10 Зв/ч [1].

В качестве источников бета излучения, в первую очередь, применяются стронций-90, иттрий-90, прометий-147, криптон-85. Такие типы ИИИ, обычно, защищены оболочкой из алюминиевой фольги толщиной 0,12-0,3 мм. Эти источники устанавливаются в релейных приборах для подсчета предметов на конвейере, таких как, например, РРП-2. Так же они используются в приборах для измерения толщины и веса покрытий из металла, пластмассы, резины, лаков, в таких РИП как, например, прибор ГММ-24024. В нейтрализаторах статического электричества АИП-Н-1 применяемых в полиграфической и текстильной промышленности установлены источники на основе плутония-239 и трития.

Источники альфа-излучения, прежде всего, используют в приборах для измерения содержания аэрозолей, пыли, радона в воздухе на предприятиях горной, металлургической, цементной промышленности. В пожарных извещателях дыма РИД-1, РИД-6М применялись радиоизотопы плутоний-238 и америций-241. Такие пожарные извещатели 40-50 лет назад устанавливались во многих организациях, на предприятиях и даже в школах. В настоящее время еще идет демонтаж этих приборов в связи с истечением сроков их эксплуатации. Такие приборы, хотя и имеют незначительное количество радионуклида, но входят в первую группу потенциальной радиационной опасности. Они представляют серьезную опасность в случае разрушения пластин, на которые нанесены радионуклиды.

В медицине РИП и радиоактивные вещества применяются достаточно широко. В различных медицинских приборах ИИИ используются для проведения медицинских исследований, диагностики и лечения заболеваний. Например, компьютеризированная установка для радиохирургии «ГАММА-НОЖ» использует пучки радиационного излучения, источником которого служит радионуклид кобальт-60. А в гамма терапевтическом комплексе «АГАТ-ВТ» применяется источник гамма излучения с кобальтом-60, иридием-192. Генераторы изомера технеция-99m используют для получения на месте радионуклидов с коротким периодом полураспада, которые входят в радиофармпрепараты, применяемые для диагностики при сцинтиграфии головного мозга, щитовидной и слюнных желез, для селективного осмотра печени, легких и др.

РИП могут представлять серьезную опасность для окружающей среды и населения в случае разгерметизации источника ионизирующего излучения. Эти приборы подлежат обязательному учету и контролю, если мощность экспозиционной дозы на удалении 10 см от поверхности такого прибора превышает 0,000001 Зв/ч. В целях предотвращения локальных инцидентов радиационного характера нельзя допускать несанкционированного использования РИП и необходимо неукоснительно руководствоваться правилами приема, передачи, использования, сдачи и вывода из эксплуатации этих приборов. Но в силу различных причин происходят случаи нарушения правил обращения с ИИИ, в том числе, хищения, утери, попадание источников в металлолом и плавильные агрегаты [1]. За счет высокой активности и достаточно широкого распространения наибольшую опасность могут представлять источники гамма излучения.

В мире зафиксировано немало случаев утери контроля источников ионизирующего излучения. Например, авария с промышленным радиографическим источником в Марокко в 1984 году, когда источник с иридием-192 активностью 1,1 ТБк отсоединился от приводного тросика. Из-за недостаточного контроля это осталось незамеченным, и источник выпал из направляющей трубки. Выпавший источник заинтересовал прохожего, который подобрал его и принес домой. В период с марта по июнь контроль над ним был утрачен. В результате погибли восемь человек. Схожая авария с радиографическим источником произошла в Каире (Египет) в 2000 году, когда в результате облучения от этого источника погиб крестьянин, который нашел источник и его сын, 5 членов семьи были госпитализированы и около 300 человек прошли дозиметрическое обследование [2].

Наблюдались случаи утраты контроля над источниками, используемыми в медицине. Например, в Бразилии в 1987 г. источник с цезием -137 активностью 50,9 ТБк был снят с терапевтической установки и украден, а капсула пробита. В последующем порошком хлорида цезия-137 была загрязнена свалка, окружающие дома и окрестности. В результате 4 человека умерло, 79 облученным потребовалось лечение из них 14 - интенсивная терапия, было проведено обследование 110 000 чел., потребовалась дезактивация 85 домов и снос 7 домов. Похожая авария произошла с головкой телетерапевтической установки в г. Самут Пракарн (Таиланд) в 2000 году. Компания в Бангкоке владелица телетерапевтических установок поместила головки установок с ИИИ в небезопасное место хранения. Несколько лиц получили туда доступ и частично разобрали головку установки, содержащую 15,7 ТБк кобальта-60. Затем эта головка на свалке в Самут Пракарне была разрезана ацетиленовой горелкой. Источник выпал из корпуса и остался незамеченным. Высокие дозы облучения от ИИИ получили в общей сложности десять человек. Трое из них – работники свалки через два месяца после аварии погибли в результате облучения. После поисков в грудe металлолома источник был найден и изъят. [3].

Инциденты с расплавлением ИИИ при переплавке металлолома способны вызвать значительные экономические и социальные последствия. Например, в мае 1998 года в электропечи сталеплавильного завода в Лос Барриосе (Испания) был расплавлен незамеченным источник цезия-137. Пары вышли через дымовую трубу, часть их была задержана фильтрующей системой и в результате чего были загрязнены 270 тонн отфильтрованной пыли. Эту пыль использовали для стабилизации болотистой местности, увеличив массу загрязненного материала до 500 тонн. Радиологические последствия этого события были минимальными: у шести человек были выявлены несколько повышенные уровни загрязнения цезием-137. Однако экономические, политические и социальные последствия оказались значительными. Грубая оценка затрат: 20 млн. долл. производственных потерь, 3 млн. долл. на операции по очистке и 3 млн. долл. на хранение отходов. Авария имела большой негативный общественный резонанс [2].

Можно привести ряд случаев утери контроля над источниками ионизирующего излучения на постсоветском пространстве и в нашей стране. В Эстонии в 1994 году трое братьев проникли в хранилище радиоактивных отходов, и забрали контейнер с источником цезия-137 активностью 1,6 ТБк. Из крепления контейнера выпал ИИИ и один из братьев положил его в карман. Менее чем через месяц он умер от облучения. В Грузии в 1997 году были обнаружены источники с цезием-137 на территории военной части под футбольным полем на глубине 30 см и в районе курилки после того, как у грузинских солдат диагностировали радиационные поражения кожи. Всего было обнаружено 12 источников. В ходе поиска так же были обнаружены 200 выброшенных прицелов с покрытием из радия-226 и источник с кобальтом-60. Одиннадцать человек получили локальное и общее облучение [3].

В России в 1995 году источник с цезием-135 активностью 48 ГБк был обнаружен в дверном кармане кабины грузовика вблизи Москвы. Водитель грузовика длительное время подвергался облучению. Мощность дозы на левой стороне водительского кресла достигала 50 мГр/ч. Доза на все тело была оценена на уровне  $7,9 \pm 1,3$  Гр. Водитель был госпитализирован и проходил лечение, но все же спустя 22 месяца умер [3].

Аварийная радиологическая ситуация, схожая с приведенной выше аварией в Лос Барриосе (Испания, 1998 г.), произошла на Подольском заводе цветных металлов в 1989 году. Источник с цезием-137, попал в плавильную печь. В результате загрязнению подверглись помещения цеха и часть территории общей площадью более 42 га. Объем образовавшихся радиоактивных отходов составил 14,5 тыс. куб. м [1]. Также похожая аварийная ситуация с меньшими радиологическими последствиями произошла в апреле 2013 года в г. Электросталь на участке цветного литья на ОАО «ЭЗТМ». Там было выявлено превы-

шение значений естественного радиационного фона. Загрязнение цезием -137 было обнаружено при отгрузке готовой продукции. Два источника ионизирующего излучения были вывезены ФГУП «Радон» на специальный полигон для утилизации. Для проведения обследования территории и прилегающей к нему местности привлекалась мобильная группа Технического кризисного центра ИБРАЭ РАН на передвижной радиометрической лаборатории, оснащенной дозиметрическим, радиометрическим и спектрометрическим оборудованием. При оценке радиационной обстановки на ближнем следе повышенный фон был зарегистрирован в районе развлекательного центра «Солярис», при этом мощность дозы над фоном в окрестностях этого комплекса (до 50 м) изменялась в пределах 0,6-1,2 мкЗв/ч [4]. Полученные значения позволили оценить плотность выпадения цезия-137 в этом месте в диапазоне от 300 до 600 кБк/м<sup>2</sup>, что более чем на два порядка величины выше существующего глобального радиационного фона. При оценке активности источника, которая была получена на основании данных по содержанию цезия – 137 в организме сотрудников предприятия, концентрация этого радиоизотопа в воздухе на улице в местах, где могли находиться люди, не превышала 25 кБк/м<sup>2</sup>, а в помещениях (кроме литейного цеха, где трудилось 4 чел.) не более 10-25 кБк/м<sup>2</sup>. По сделанному заключению полученная оценка мощности источника выброса цезия-137 в 1 ТБк в целом обеспечивает удовлетворительное сходство картин выпадений, полученных по результатам обработки данных инструментальных измерений и расчетным путем [4].

По результатам анализа за последние 5 лет случаи ситуаций санитарно-эпидемиологического характера и радиационных аварий, связанных с потерей контроля над ИИИ в России происходят достаточно стабильно и регулярно. Это не единичные случаи. Число их ежегодно более двухсот.

В Российской Федерации в 2017 году зафиксировано 233 случая радиационных аварий и ситуаций санитарно-эпидемиологического характера, связанных с потерей контроля над ИИИ. Наибольшее количество подобных случаев приходилось на Московскую область (36 случаев), г. Москва (30), Свердловскую область (29), г. Санкт-Петербург (23), Оренбургскую область (23), [5]. Из всех зафиксированных случаев 33,9 % это 79 случаев приходится на выявление источников излучения в металлоломе. Основными причинами повышенного уровня гамма-излучения от металлолома являются присутствие в его составе частей различной радиационной техники, а также загрязнение с течением времени труб из металла природными радионуклидами. В основном это радий-226 и его соли. Одной из наиболее встречающихся причин радиологических аварийных ситуаций является выявление бесконтрольных ИИИ. Зачастую идентифицировать найденные бесхозные ИИИ невозможно, так как найденные ИИИ это обломки радиационной техники без маркировки. Часто это неисправные потребительские изделия, такие как компасы, фрагменты циферблатов, кинопроекторы, либо радиоизотопные приборы.

В 2018 году в России было зафиксировано 222 случая таких инцидентов. На 13 меньше чем в 2017 году. Наиболее значительное количество их приходилось на г. Москву - 31 случай, г. Санкт-Петербург -30 случаев; Московская область – 30 случаев, Оренбургская область – 24 случая, Свердловская область - 20 случаев. Из них на выявление ИИИ в металлоломе приходится 32,0 % это 71 случай, произошедшие в 16 субъектах РФ. Распространенной причиной подобных инцидентов являлось обнаружение бесконтрольных ИИИ, среди которых следует особо отметить случаи нахождения калибровочных источников. В 2018 году найдено 13 неучтенных калибровочных источников [6].

Данные, связанные с радиологическими аварийными ситуациями за последние годы в России, позволяют судить о важности и актуальности развития направления в области осуществления качественного контроля за ИИИ и проведения оперативного поиска утерянных источников. Осуществление контроля источников ионизирующего излучения яв-

ляется важной задачей, в ходе решения которой может осуществляться поиск этих источников. Поиск ИИИ классифицируется на физический поиск и нефизический поиск. Физический поиск представляет собой непосредственное обнаружение ИИИ с использованием различных приборов и технических средств. Нефизический поиск это организационно-административные мероприятия по учету контролю и поиску источников.

Мероприятия по проведению поисков ИИИ в общем виде будут зависеть от ряда факторов, в том числе: наличие потенциальной возможности существования утерянного (неконтролируемого) источника и радиационной опасности, создаваемой этим источником; категория под которой классифицируется утерянный источник, если тип его известен; время, прошедшее с момента потери контроля над ИИИ (момента его утери или хищения); полный объем информации, которая может быть использована в ходе поиска источника; возможные ресурсы и материальные затраты, которые можно использовать при поиске источника; наличие квалифицированных специалистов для проведения поиска ИИИ; технические средства, приборы и аппаратура, имеющиеся для проведения физического поиска источника; отношение к радиационному риску органов власти и населения на территории, где по предположениям утерян контроль над ИИИ.

Непосредственно физический поиск ИИИ включает в себя в основном мероприятия по подготовке и планированию поиска, а также непосредственно процесс поиска, который представляет собой действия группировки сил и средств по отысканию источника. Основные действия будут нацелены на обнаружение источника излучения с использованием специальных технических средств. При этом может применяться целый спектр различной аппаратуры и приборов.

При пассивном поиске ИИИ, применяются стационарно установленные средства радиационного мониторинга, это, в первую очередь, стационарные посты радиационного контроля, и средства сигнализации систем радиационной безопасности. Действия по активному поиску источника с использованием переносных приборов и мобильных технических средств будут составлять более значительную долю в проведении поисковых мероприятий. При этом, прежде всего, будут применяться носимые дозиметры с сигнализацией, переносные дозиметрические приборы, переносные спектрометрические приборы, мобильные средства контроля радиационной обстановки, к которым в том числе относятся передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ), мобильные комплексы аэрогамма съемки на база беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), быстроразвертываемые модули контроля радиационной обстановки, приборы и аппаратура применяемая для аэрогамма съемки на самолетах и вертолетах. Из числа подобных мобильных средств достаточно эффективными для поиска ИИИ являются ПРЛ легкого типа и комплексы аэрогамма съемки на базе БПЛА.

На оснащении МЧС России имеются штатные машины радиационной и химической разведки РХМ-1, РХМ-2, БРДМ-2рх, а также новые машины РХБ разведки РХМ-6, РХМ-9, РХМ-9Г [7]. Такие средства могут применяться при радиологических аварийных ситуациях, но они предназначены в основном для других целей и могут выполнять только незначительную часть возникающих в этих ситуациях задач. Поэтому эффективность их применения в данных ситуациях будет невысокой.

Спектр создаваемых передвижных радиометрических лабораторий по функциям, конструкции, составу, назначению, комплектации и другим параметрам достаточно широк. ПРЛ можно условно разбить на два класса «тяжелые» и «легкие». В классе тяжелых лабораторий можно выделить несколько основных типов: ПРЛ для работы в зоне поражения, в непосредственной близости от аварийных ядерно и радиационно-опасных объектов. Такие лаборатории строятся на базе шасси тяжелых автомобилей, например, типа «БТР» с использованием специальных усиленных средств радиационной защиты персо-

нала и основных агрегатов транспортного средства. Основное назначение такой лаборатории – радиационная разведка в зоне сильного загрязнения, в том числе, с элементами спектрометрии, отбор проб почвы, воздуха для дальнейшего анализа.

Для проведения анализа проб в непосредственной близости от зоны сильного загрязнения обычно используют передвижные аналитические лаборатории на базе шасси тяжелых грузовиков типа Урал, КамАЗ, оснащенных герметичными кузовами-фургонами. В таких машинах размещают радиохимическое, гамма-, альфа- и бета- спектрометрическое оборудование. Часто такие лаборатории содержат также и комплекты оборудования индивидуального дозиметрического контроля с устройствами считывания и хранения архивов. Кроме того ПРЛ часто укомплектовывают оборудованием для проведения дезактивации специалистов, с целью предотвращения заноса загрязненного грунта и пыли внутрь «чистого» кузова-фургона.

«Тяжелые» лаборатории могут выполнять широкий спектр задач при радиологических аварийных ситуациях, но более целесообразно использование при таких ситуациях ПРЛ легкого типа. Для этих лабораторий дополнительные средства пассивной защиты уже не так актуальны, так как они используются в относительно чистых местах. Такими ПРЛ оснащены многие территориальные органы МЧС России в субъектах РФ. Основным назначением подобных ПРЛ является [8]: обеспечение территориальных образований МЧС России мобильным средством для оперативного контроля радиационной обстановки и быстрого реагирования при радиационных авариях на ядерно и радиационно-опасных объектах; обеспечение информацией для эффективного управления мероприятиями по защите населения.

«Легкие» ПРЛ, как правило, строятся на базе шасси микроавтобусов («Газель», «Форд Транзит» и т.п.) или автомобилей повышенной проходимости. В таких ПРЛ уделяется особое внимание разнообразным средствам измерений и средствам связи для оперативной обработки и передачи полученных данных. Эти ПРЛ могут осуществлять радиационный контроль, радиационную разведку, экспресс оценку и уточнение радиационной обстановки на местности как в аварийных ситуациях, так и при плановых радиационных обследованиях территорий. Они способны выполнять следующие функции: обнаружение радиоактивных источников и загрязнений; оконтуривание загрязненных территорий; определение основных характеристик радиоактивных загрязнений (мощность амбиентного эквивалента дозы на местности, нуклидный состав загрязнений или источников, наличие альфа и бета излучающих радионуклидов, наличие радиоактивных аэрозолей); отбор, экспресс-анализ и транспортировка проб почвы, воды и воздуха; связь с кризисными центрами и другими экипажами, в том числе передача результатов измерений в режиме реального времени с привязкой к географическим координатам.

Основной состав оборудования, которым оснащаются ПРЛ, приведен в табл. 1 [9].

*Таблица 1*

**Основной состав измерительного оборудования ПРЛ**

<b>№ п/п</b>	<b>Наименование измерительного прибора</b>	<b>Количество</b>
1	Установка для проведения гамма-съемки «Гамма-сенсор»	1
2	Спектрометр МКС-АТ6101С	1
3	Дозиметр радиометр ДКС-96 Гб, П, Ат	1
4	Многофункциональный дозиметр гамма излучения ДКГ- 02У «Арбитр»	2
5	Дозиметр ДКГ 05	1
6	Гамма-спектрометр «Прогресс-гамма»	1
7	Расходомер-пробоотборник радиоактивных газоаэрозольных смесей ПУ-5	1
8	Устройство считывания УС-5	1

Кроме указанной аппаратуры ПРЛ оснащена спутниковой системой навигации и системой связи с центром сбора и обработки информации который, как правило, находится в ЦУКС МЧС России по субъекту РФ. Это позволяет произвести привязку данных о радиационной обстановке к электронной карте и представлять эту обстановку в реальном масштабе времени.

В последнее десятилетие были созданы, и включены в состав ряда территориальных автоматизированных систем контроля радиационной обстановки (АСКРО) мобильные комплексы аэрогамма съемки (МК АГС). Состоит МК АГС из модуля воздушной разведки (МВР) и средства доставки МВР в район применения на базе внедорожника, типа «джип». МВР создан на базе БПЛА и оснащен подвесным оборудованием для проведения аэрогамма съемки, видео и теплового наблюдения.

Такой МВР позволяет решать следующие задачи: оценку характеристик радиационного гамма фона над заданным участком местности в реальном масштабе времени в широком диапазоне мощностей доз гамма-излучения с координатной привязкой точек измерения; получение спектральных характеристик гамма-излучения; оперативное выявление радиационных аномалий и их интерпретации как точечных или площадных источников гамма излучения с известным радионуклидным составом; получение по команде оператора или в соответствии с полетной программой привязанных по координатам фотографий интересующего участка подстилающей поверхности.

При осуществлении поиска источника излучения МК АГС позволяет в течении короткого времени обеспечить быстрое обнаружение ИИИ на заданном локальном участке местности. При этом он может выполнить аэрогамма съемку района аварии, и что немаловажно это позволит оперативно провести экспресс оценку обстановки в районе радиологической аварийной ситуации для принятия экстренных мер. Описанные выше средства могут эффективно использоваться группировкой сил и средств РСЧС, создаваемой для реагирования на локальные инциденты радиационного характера.

Локальные инциденты радиационного характера определяются как радиологические аварийные ситуации. Это ситуации связанные с радиоактивным материалом и способные возникнуть в любом месте чрезвычайные ситуации (ЧС) следующих видов [10]: неконтролируемые опасные источники, такие как оставленные без присмотра, утерянные, похищенные или найденные источники; использование не по назначению опасных медицинских и промышленных ИИИ, например, источников, которые применяются в радиографии; облучение и радиоактивное загрязнение населения в случае, когда неизвестны его источники; случаи серьезного переоблучения; злонамеренные акты и угрозы; транспортные ЧС радиационного характера.

Опыт радиологических аварийных ситуаций показывает, что местные аварийные службы, такие как пожарные расчеты, бригады скорой помощи, группы правоохранительных органов, часто играют важную роль при оперативном реагировании на эту ЧС. А по прошествии нескольких часов должностные лица, принимающие решение на реагирование на ЧС радиационного характера, также начинают играть весомую роль.

В случае подобных ЧС основные цели реагирования сводятся к тому, чтобы защитить население и защитить аварийный персонал во время выполнения ответных мер. В соответствии с общими концепциями реагирования на подобные ситуации должен иметься единый руководитель операций, который несет ответственность за руководство реагированием. На самой ранней стадии радиологической аварийной ситуации это может быть начальник караула пожарной части или руководитель местных правоохранительных органов [10]: В последующем руководство реагированием переходит к компетентному руководителю органов власти, председателю комиссии по чрезвычайным ситуациям (КЧС).

Создаваемая группировка сил для реагирования на радиологическую ситуацию, как правило, может включать [10]:

- руководителя аварийных работ на месте ЧС (или ряд таких лиц), который отвечает за оперативное управление выполнением мероприятий по реагированию на месте развития радиологической аварийной ситуации в соответствии с указаниями председателя КЧС;

- подразделения МЧС России, которые на начальном этапе аварии могут отвечать: за создание внутренней охраняемой зоны, за выполнение поисково-спасательных работ; за сортировку пострадавших и оказание первой помощи (до момента прибытия службы скорой медпомощи); борьбу с другими опасностями (например, пожарами, опасными материалами); учет лиц, которые осуществляют мероприятия по реагированию на ЧС; регистрацию, обработку, дозиметрический контроль и дезактивацию населения, а также дозиметрический контроль и дезактивацию лиц, которые осуществляют мероприятия по реагированию на ЧС;

- службу скорой медицинской помощи;

- группы сотрудников правоохранительных органов, которые, как правило, отвечают за создание периметра санитарно-защитной зоны и обеспечение безопасности в зонах вне этого периметра, а также за сбор, изучение и контроль улик, распространение информации и сведений, полученных на месте события;

- группу дозиметрического контроля (дозиметриста), принимающего первые ответные меры. Это специалисты, оснащенные и подготовленные для использования основных приборов дозиметрического контроля, но не являющиеся квалифицированными специалистами по оценке радиологической обстановки. Эти специалисты выполняют только простые действия по оценке ситуации. Дозиметрист на начальном этапе ситуации, как правило, не присутствует на месте события. С выявлением радиологического характера ситуации запрос о его прибытии направляется в организацию, где имеются дозиметристы;

- группу (специалиста) по оценке радиологической обстановки. Она, как правило, не присутствует на месте события, по крайней мере, в течение первых часов. Но эта группа (специалист) обладает подготовкой, оснащением и квалификацией, которые позволяют проводить оценку источников альфа-, бета-, гамма- и нейтронного излучения, делать оценки доз, выполнять дозиметрический контроль, контролировать загрязнение, формулировать рекомендации в отношении защитных действий и обеспечивать радиационную защиту работников аварийных служб. По прибытии на место аварии они обеспечивают поддержку в области радиационной защиты.

При радиологической аварийной ситуации важную роль будет иметь оценка и прогнозирование обстановки развития данной аварийной ситуации на ранней стадии. Такая оценка и прогнозирование позволит обеспечить адекватное угрозам реагирование на радиологическую аварийную ситуацию и принять правильные решения на проведение мероприятий по защите населения и ликвидации последствий аварии с наименьшим ущербом. Для поддержки принятия решений при реагировании на подобные ЧС может использоваться достаточно много систем поддержки принятия решений (СППР) и экспертных систем, которые в настоящее время уже разработаны, совершенствуются, и еще разрабатываются.

При этом необходимо отметить, что большая часть СППР ориентированы на оценку последствий радиационных выбросов при конкретных условиях распространения радиоактивных веществ в атмосфере. Это позволяет производить оперативные прогнозы последствий радиационных выбросов, а так же делать заблаговременные оценки для ограниченного количества реперных сценариев. В настоящее время одной из перспективных методологий для задач аварийного планирования, заблаговременной оценки и управления рисками от возможных аварий является методология вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергетики (ВАБ-3 ОИАЭ). ВАБ-3 ОИАЭ позволяет получать количественные характеристики риска с учетом неопределенности характеристик выбросов и условий распространения радиоактивных веществ в окружающей среде на неизвестный заранее момент аварии [11, 12].

Ниже приводится модельный пример оценки некоторых количественных характеристик риска для случая выброса радиоактивных веществ при случайном попадании ИИИ в плавильную печь с использованием методологии ВАБ-3 ОИАЭ. Характеристики источника выброса взяты из аналогичного радиационного инцидента описанного в работе [4]: эффективная высота выброса — 20,0 м, выброс — 1,0 ТБк (30,0 Ки) цезия-137. Вероятности реализации сочетаний метеорологических параметров (направление ветра, скорость ветра, класс устойчивости атмосферы) для модельных оценок принимались характерными для центра европейской части России. Вероятность выброса — 1,0. Оценки проводились при консервативных предположениях отсутствия вертикальной миграции нуклидов в почву, отсутствия смыва радионуклида с территории осадками. Защитный эффект зданий, в которых население проводит существенную часть времени, так же не учитывался.

На рис. 1 представлены изолинии условной вероятности (при вероятности выброса равной 1,0) превышения эффективной дозы от загрязненной поверхности 70 мЗв за 70 лет. На рис. 2 представлена дополнительная функция вероятностного распределения площади с загрязнением цезием-137, создающим эффективную дозу внешнего облучения более 70 мЗв за 70 лет. Величина эффективной дозы 70 мЗв за 70 лет принята исходя из положения СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)» [13] п. 3.1. «Нормальные условия эксплуатации источников излучения», согласно которым эффективная доза для населения за период жизни (70 лет) не должна превышать 70 мЗв.

На рис. 3 представлены изолинии условной вероятности (т.е. при вероятности инцидента равной 1,0) превышения загрязнения территории с плотностью более 1,0 Ки/км<sup>2</sup>. На рис. 4 представлена дополнительная функция вероятностного распределения площади загрязненной цезием - 137 более 1,0 Ки/км<sup>2</sup>. Величина 1,0 Ки/км<sup>2</sup> выбрана в соответствии с ФЗ-1244-1 "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" от 15.05.1991 (ред. от 27.12.2018) [14], действие которого распространяется на территории, подвергшиеся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС, с плотность радиоактивного загрязнения почвы цезием - 137 превышающую 1 Ки/км<sup>2</sup>.

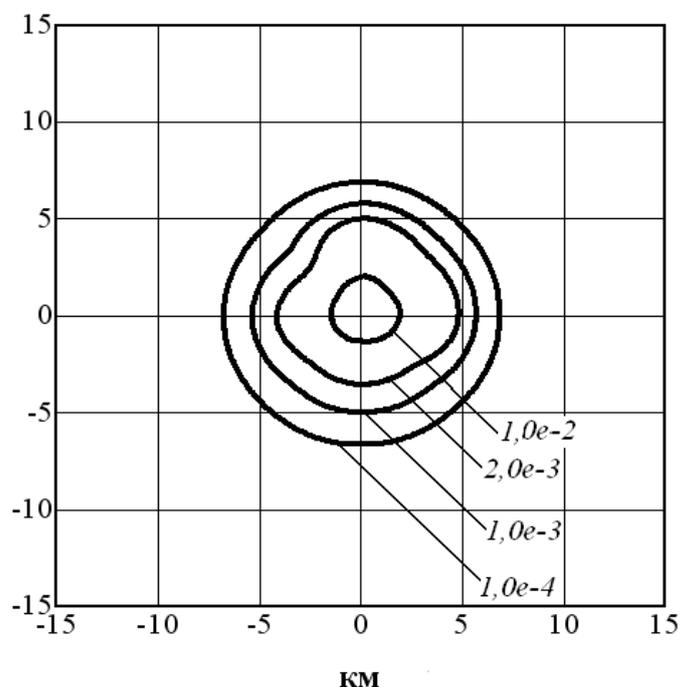


Рис. 1. Изолинии условной вероятности превышения эффективной дозы от загрязненной поверхности 70 мЗв за 70 лет

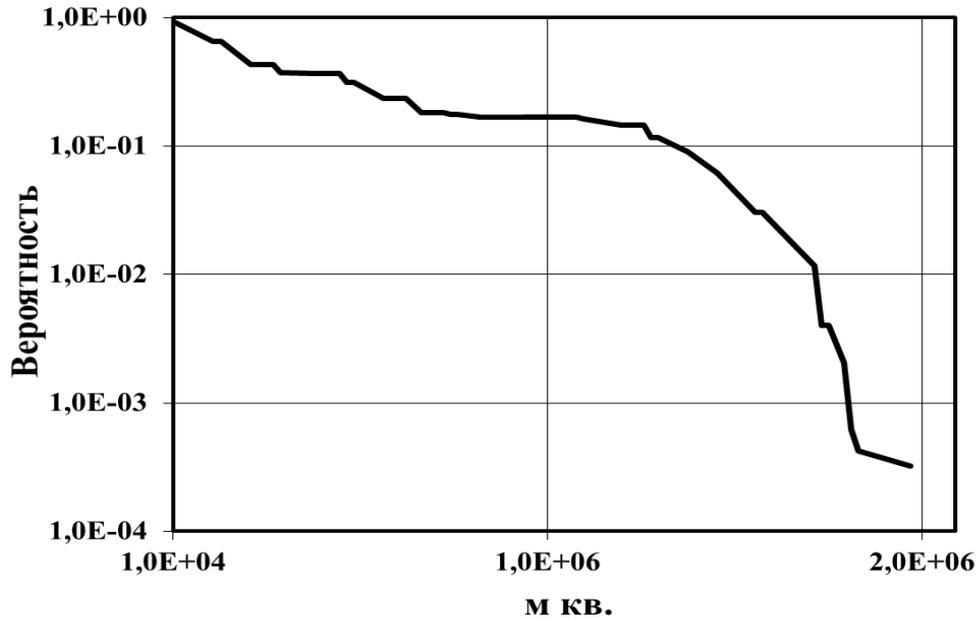


Рис. 2. Дополнительная функция вероятностного распределения площади с загрязнением цезием - 137, создающим эффективную дозу внешнего облучения более 70 мЗв за 70 лет

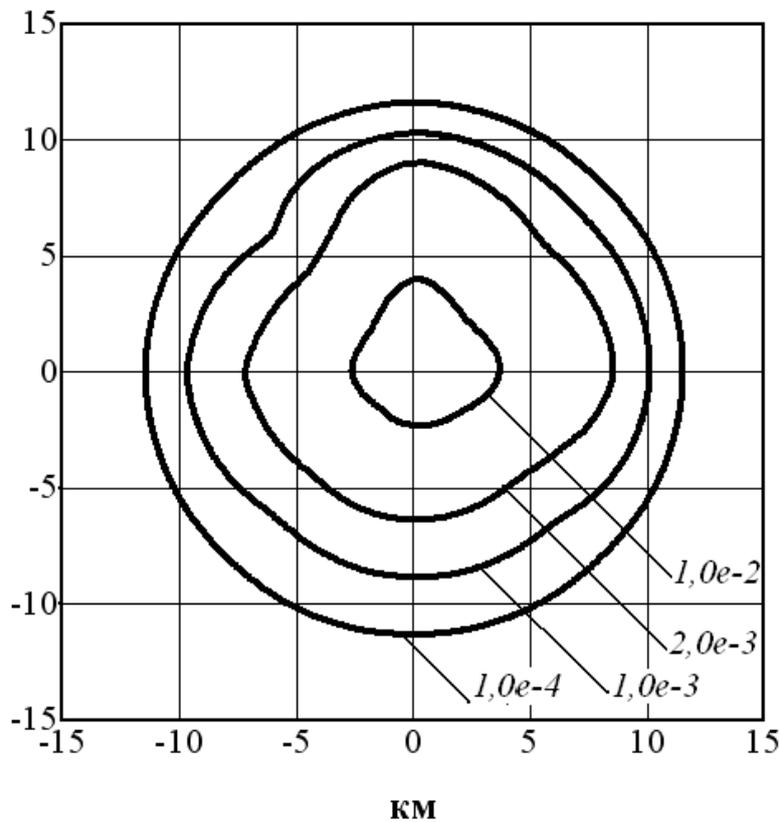


Рис. 3. Изолинии условной вероятности превышения загрязнения территории с плотностью загрязнения более 1 Ки/км<sup>2</sup>

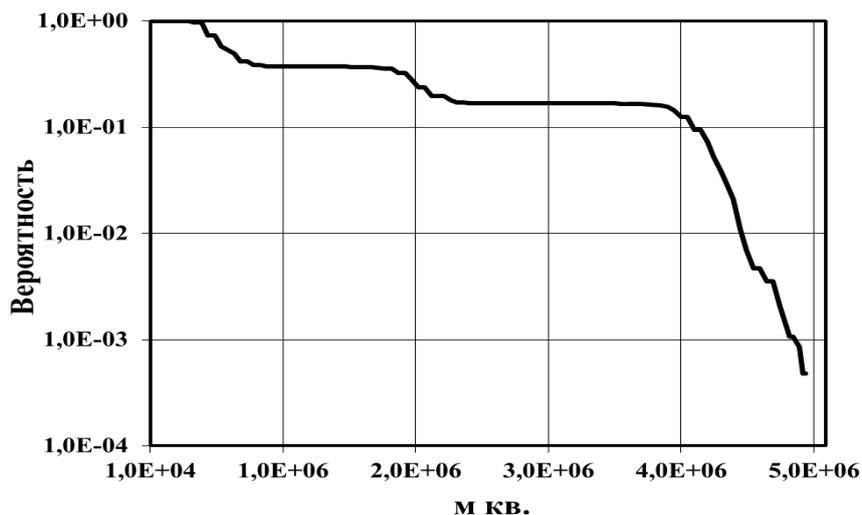


Рис. 4. Дополнительная функция вероятностного распределения площади загрязненной цезием - 137 более 1 Ки/км<sup>2</sup>

Полученные результаты могут быть использованы при аварийном планировании и зонировании территорий вокруг объектов, на которых могут произойти инциденты подобного рассмотренному.

Так, например, из рис. 1 можно определить территорию, которая будет загрязнена заданным уровнем загрязнения с вероятностью выше заданной, из рис. 3 – территорию на которой заданная доза будет превышена с некоторой вероятностью.

Из рис. 2 можно определить частоту, с которой уровень загрязнения превысит заданную площадь или определить площадь, которая будет превышена с заданной частотой для пороговых уровней загрязнения или доз.

### Заключение

Радиологические аварийные ситуации с радиоизотопными источниками ионизирующего излучения имеют место в мировой практике. Они, как правило, обусловлены утратой контроля над источниками ионизирующего излучения. Последствия от подобных ЧС могут наносить существенный ущерб, который в большей степени способен иметь социально-психологический характер и получить большой общественный резонанс. Оперативные адекватные меры по реагированию на аварийную радиологическую ситуацию позволяют минимизировать этот ущерб. При подобных ЧС должна быстро действовать созданная группировка сил и средств РСЧС, которая будет применять эффективные системы и средства, ориентированные на применение при реагировании на радиологические аварийные ситуации. К таким средствам, в том числе, относятся мобильные средства радиационного контроля, имеющие хорошую эффективность в подобных ситуациях, а также системы поддержки принятия решений, основанные на различных научных методах. К числу таких относится методология ВАБ-3 ОИАЭ. Приведенный в статье пример показывает, что методология ВАБ-3 ОИАЭ может быть успешно применена в задачах аварийного планирования и управления рисками при инцидентах с ИИИ с выбросом в атмосферу радиоактивных веществ.

### Литература

1. Сафронов В.Г., Желваков А.В.. Радиоизотопные приборы: Проблемы радиационной безопасности // Безопасность окружающей среды №2 – 2007 г. С. 38-41.

2. Усиление контроля за радиоактивными источниками, разрешенными к использованию, и восстановление контроля над бесхозными источниками. // IAEA-TECDOC-1388. МАГАТЭ, Вена. - 2005 г. 120 с.

3. Источники и последствия ионизирующего излучения. Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации. Доклад НКДАР ООН на Генеральной Ассамблее за 2008 год с научными приложениями. Том II: эффекты, научные прил. С, D и E // ООН, Нью-Йорк. - 2011г. 313 с.

4. Гаврилов С.Л., С.А. Шикин, А.В. Шикин и др. Оценка радиационной обстановки, параметров источника выброса и выпадений <sup>137</sup>Cs при радиационном инциденте в г. Электросталь на основе первичного радиационного обследования и расчетного анализа. // АНРИ № 1(96). - 2019. С. 27 – 36.

5. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2017 году: Государственный доклад.—М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека. - 2018.—268 с.

6. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году: Государственный доклад.—М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2019.—254 с.

7. Гражданская защита: Энциклопедия в 4-х томах. Т. III (П – С) (издание третье, переработанное и дополненное); под общей ред. В.А. Пучкова / МЧС России. М.: ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ). - 2015. 658 с. илл. ISBN 978-5-93790-129-7.

8. Труды ИБРАЭ РАН / под общ. ред. чл.-кор. РАН Л.А. Большова; Ин-т проблем безопасного развития атомной энергетики РАН.- М.: Наука. - 2007- Вып. 15: Развитие систем аварийного реагирования и радиационного мониторинга / ред. Р.В. Арутюнян. – 2014.- 315 с. : ил.- ISBN 978-5-02-039111-6 (в пер.)

9. Передвижная радиометрическая лаборатория. Руководство по эксплуатации. ФВКМ.412131.002-11РЭ.

10. Руководство для лиц, принимающих первые ответные меры в случае радиологической аварийной ситуации. МАГАТЭ, Вена. - 2007г. 114 с.

11. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Панченко С.В. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 как звено в эволюции работ по повышению безопасности АЭС. — Атомная энергия. - 2017, т. 123, вып. 6, с. 344—349.

12. Симонов А.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Попов Е.В., Яковлев В.Ю. Опыт реагирования на чрезвычайные ситуации с радиационным фактором и значение методологии вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для совершенствования системы аварийного реагирования. — Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2018, № 2, с. 127—134.

13. СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)»

14. ФЗ-1244-1 "О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС" от 15.05.1991 (ред. от 27.12.2018)

### **Сведения об авторах**

**Попов Евгений Валерьевич** — зав. лабораторией ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-24-90, e-mail: pev0063@mail.ru

**Пантелеев Владимир Александрович** — старший научный сотрудник Института проблем безопасного развития атомной энергетики РАН (ИБРАЭ РАН), 8-(495) 955-22-14, e-mail: bob\_rsi@mail.ru

**Сегаль Михаил Давыдович** — ведущий научный сотрудник ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-14, e-mail: nag@ibrae.ac.ru

**Гаврилов Сергей Львович** — зав. отделением ИБРАЭ РАН, 8-(495) 955-22-36, e-mail: gav@ibrae.ac.ru

**Шикин Сергей Александрович** — зав. отделом ИБРАЭ РАН, (495) 955-22-84;

**Пименов Артем Евгеньевич** — научный сотрудник ИБРАЭ РАН, т.(495) 276 20-00 доб. 4-69.