

5. McEwen J.D. N., Johnson M.R. Black carbon particulate matter emission factors for buoyancy – driven associated gas flares// J. Air Waste Manage. - 2012. Vol. 62. Pp. 307-321.
6. Conrad B.M., Johnson R.M. Field measurements of black carbon yields from from gas flaring// Environmental Science & Technology.
7. Schwarz J.P., Holloway J.S., Katich J. M., McKeen S., Kort E.A., Smith M.L., Ryerson T.B., Sweeney C., Peischl J. Black carbon emission from the bakken oil and gas developments region// Environ. Sci. Technol. Lett. - 2015. Vol. 2(10). Pp. 281-285.
8. Johnson M.R., Devillers R.W., Thomson K.A. Quantitative field measurement of soot emission from a large gas flare using Sky – LOSA// Environ. Sci. Technol. - 2011. Vol. 45. Pp. 345-350.
9. Johnson M.R., Devillers R.W., Yang C., Thomson K.A. Sky- Scattered solar radiation based plume transmissivity measurements to quantify soot emission from flares// Environ. Sci. Technol. - 2010. Vol. 44(21). Pp. 8196-8202.
10. Johnson M.R., Devillers R.W., Thomson K.A. Generalized Sky – LOSA method to quantify soot/black carbon emission rates in atmospheric plumes of gas flares// Aerosol Sci. Tech. - 2013. Vol. 47. Pp. 1017-1029.
11. Brocchi V., Krysztofiak G., Deroubaix A., Stratmann G., Sauer D. Local air pollution from oil rig emissions observed during the airborne DACCIWA campaign// Atmospheric Chemistry and Physics, European Geosciences Union. - 2019. Vol. 19(17). Pp. 11401-11411. insu – 02284833. DOI:10.5194/acp-19-11401-2019.
12. Briggs G.A. Plume rise model compared with observations// Journal of the Air Pollution Control Association. - 1965. Vol. 15. Pp. 433-438. <https://doi.org/10.1080/00022470.2965.10468404> .
13. Briggs G.A. Plume rise and buoyancy effects, atmospheric sciences and power production, in DOE/TIC-27601(DE84005177), edited by Randerson D., TN, Technical Information Center, U.S. Depth. Of Energy, Oak Ridge, USA. - 1984. Pp. 327-366.

#### Сведения об авторе

*Асадов Ильгар Хикмет оглу*, аспирант Национального аэрокосмического агентства, руководитель группы Бакинского подразделения Компании Камерон. тел. +99450 3247240. г.Баку, Азербайджанская Республика

УДК: 621.039

DOI: 10.36535/0869-4176-2020-04-5

### О ПЛАНИРОВАНИИ МАРШРУТОВ ПЕРЕДВИЖНЫХ РАДИОМЕТРИЧЕСКИХ ЛАБОРАТОРИЙ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ РАДИАЦИОННОГО ХАРАКТЕРА

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

*Приводится описание применения передвижных радиометрических лабораторий (ПРЛ) для проведения радиационной разведки при возникновении аварийных ситуаций на ядерно и радиационно опасных объектах. Кратко описываются типы ПРЛ и их применение на ранней и промежуточной стадиях радиационной аварии. Более подробно*

рассматриваются ПРЛ легкого типа и приводится основной состав их измерительного оборудования. Рассматриваются некоторые способы применения ПРЛ в условиях аварийного реагирования. Рассмотрены вопросы заблаговременного планирования маршрутов движения ПРЛ в условиях угрозы или возникновения чрезвычайной ситуации с радиационным фактором, подходы к обоснованию и оптимизации маршрутов ПРЛ, в том числе, с использованием методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня объектов использования атомной энергии (ВАБ-3 ОИАЭ).

**Ключевые слова:** радиационные аварии, аварийное реагирование, чрезвычайная ситуация, оценка радиационной обстановки, передвижная радиометрическая лаборатория, безопасность, риск, вероятностный анализ безопасности, радиационная разведка, ВАБ-3 ОИАЭ.

## PLANNING ROUTES OF MOBILE RADIOMETRIC LABORATORIES IN RADIATION EMERGENCY SITUATIONS

**Ph.D. (Tech.) E.V. Popov, Ph.D. (Phys.-Mat.) V.A. Panteleev, Dr. (Tech.) M.D. Segal,  
S.L. Gavrilov, A.E. Pimenov**

**Nuclear Safety Institute of the Russian Academy of Sciences**

*Described the use of mobile radiometric laboratories (PRL) for conducting radiation reconnaissance in emergencies at nuclear and radiation hazardous facilities. The types of PRL and their application in the early and intermediate stages of a radiation accident are briefly described. Lightweight PRLs are considered in more detail and the basic composition of their measuring equipment is given. Some ways of using PRL in emergency response are considered. The issues of early planning of RLP routes in the face of a threat or emergency with a radiation factor, approaches to justifying and optimizing RLR routes, including using PSA Level 3 of nuclear facilities, are considered.*

**Key words:** radiation accidents, emergency response, emergency, assessment of the radiation situation, mobile radiometric laboratory, safety, risk, probabilistic safety analysis, radiation reconnaissance, PSA Level 3.

Для осуществления аварийного реагирования на чрезвычайные ситуации (ЧС) радиационного характера, которые хотя и с небольшой долей вероятности, все же могут произойти на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), созданы и функционируют объектовые и территориальные системы аварийного реагирования. Одной из основных и важных составляющих этих систем являются автоматизированные системы контроля радиационной обстановки (АСКРО), которые в свою очередь включают в себя стационарные средства контроля радиационной обстановки и мобильные средства контроля радиационной обстановки [1].

К стационарным средствам, прежде всего, относятся стационарные посты радиационного контроля и центры сбора и обработки информации о радиационной обстановке. Основную часть мобильных средств контроля радиационной обстановки составляют передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ).

ПРЛ предназначены для решения ряда задач и подразделяются на два класса: легкие и тяжелые. На базе шасси тяжелых и даже бронированных автомобилей создаются лаборатории, относящиеся к классу тяжелых ПРЛ, которые предназначены для работы в непосредственной близости от места радиационной аварии. Такие лаборатории могут быть, например, на базе бронетранспортеров, на которых усилена радиационная защита персо-

нала и агрегатов. Тяжелые лаборатории на базе автомобилей типа «Урал» или «КамАЗ» имеют герметичные кузова-фургоны. В этих лабораториях, как правило, устанавливается радиохимическое, гамма-, альфа- и бета-спектрометрическое оборудование. В них также имеются комплекты оборудования для ведения индивидуального дозиметрического контроля с устройствами считывания и хранения архивов.

Легкие лаборатории создаются на базе автофургонов типа «Форд Транзит», «Газель», а также внедорожников повышенной проходимости. Такие ПРЛ применяются для проведения контроля радиационной обстановки на заданных маршрутах движения, для оконтуривания зон радиоактивного загрязнения, а также для проведения обследования населенных пунктов, попавших в зону радиоактивного загрязнения [1].

Некоторые характеристики различных мобильных средств для ведения радиационной разведки на маршрутах при ЧС радиационного характера приведены в табл. 1 [2, 3].

Таблица 1

**Некоторые характеристики мобильных средств для ведения радиационной разведки при ЧС радиационного характера**

Характеристики	РХМ-6	РХМ-8	РСМ-41-02	ПРЛ тяжелая	ПРЛ легкая
Транспортная база	БТР-80	Автомоб. «Тигр»	УАЗ-3962	КАМАЗ	Форд Транзит
Экипаж, чел.	3	3	4	4	3
Масса, т	13,5	7,5	2	12	2,2
Максим. Скорость по шоссе, км/ч	80	80/60	90	90	90
по преодолению водной преграды, км/ч	9				
Скорость радиационной разведки, км/ч по дорогам	до 40	до 50		до 50	до 50
по пересеч. местности	до 20	до 20			
Особенности	усилен. радиац. защита	автоматизир. средства радиац. разведки	только переносн. приборы радиац. разведки	радиац. защита кунга, автоматиз. средства радиац. контроля	автоматизированные средства радиац. контроля

ПРЛ являются весомым и необходимым дополнением к стационарным средствам радиационного контроля. Именно они играют одну из важных ролей при получении данных для оценки складывающейся радиационной обстановки в начальный период ЧС радиационного характера.

Характерным отличием ранней ЧС с радиационным фактором является высокая вероятность появления вторичных загрязнений за счет распространения выпавших первично и незафиксированных радиоактивных веществ (РВ). При ликвидации последствий ЧС радиационного характера на ранней стадии, прежде всего, решаются следующие задачи [4, 5]:

- выявление и оценка радиационной обстановки, которая складывается при радиационной аварии;
- проведение неотложных защитных контрмер таких как укрытие, эвакуация населения, йодная профилактика.

- действия по локализации источника радиационной аварии, направленные, прежде всего, на прекращение выброса РВ;
- снижение распространения выпавших РВ на малозагрязненные или чистые участки за счет локализации и удаления загрязненных радионуклидами частей технологического оборудования и сооружений, просыпей и проливов РВ;
- создание мест и площадок для временного складирования и хранения радиоактивных отходов.

Для принятия таких решений, адекватных складывающейся на ранней стадии ситуации крайне необходима прогностическая оценка складывающейся радиационной обстановки, для которой должны быть использованы, в том числе, средства радиационной разведки и радиационного мониторинга.

Тяжелые ПРЛ предназначены для выполнения задач по сбору данных для оценки радиационной обстановки на аварийном объекте и в непосредственной близости от него, то ПРЛ легкого типа будут вести сбор данных на более удаленных территориях.

ПРЛ легкого типа представляет собой автофургон, с кузовом, который оборудован для размещения аппаратуры, предназначенной для осуществления контроля радиационной обстановки и специалистов. Внешний вид ПРЛ легкого типа представлен на рис. 1. Основным назначением такой ПРЛ является [3]:

- обеспечение территориальных образований МЧС 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.

Основной состав оборудования такой ПРЛ, приведен в табл. 2.

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



Рис. 1. Внешний вид «легкой» ПРЛ на базе автофургона

Основной состав измерительного оборудования ПРЛ

№ п/п	Наименование измерительного прибора	Количество
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-05Д	1
6	Гамма –спектрометр «Прогресс-гамма»	1
7	Расходомер-пробоотборник радиоактивных газоаэрозольных смесей ПУ-5	1

ПРЛ, как правило, назначаются маршруты движения в районах выполнения задач, которые в свою очередь должны быть определены заблаговременно в соответствии с вероятными сценариями возникновения ЧС радиационного характера. На этих маршрутах ПРЛ ведут разведку в целях раннего обнаружения радиоактивных выпадений. При выполнении подобной задачи ПРЛ, как правило, проводят радиационную разведку в ходе движения, используя установленные на них автоматизированные средства контроля радиационной обстановки, которые осуществляют передачу полученных данных в центр сбора, обработки, передачи и хранения информации о радиационной обстановке по средствам связи в реальном масштабе времени. Остановки для проведения радиационных измерений, как правило, производятся в случае обнаружения радиоактивного загрязнения. При установлении факта радиоактивного загрязнения средства, входящие в состав ПРЛ, используются в целях выявления радиационной обстановки и сбора данных о радиационной обстановке для уточнения прогностических оценок.

Маршруты ПРЛ могут уточняться и изменяться исходя из особенностей складывающейся обстановки. В качестве одной из задач реагирования на ЧС может выполняться радиационная разведка маршрутов эвакуации населения из района аварии.

Ведение радиационной разведки на данной стадии будет осуществляться в целях сбора данных для оценки радиационной обстановки, складывающейся в аварийном районе. На этой стадии важное значение имеет радиационная разведка местности и объектов. При этом работы по проведению радиационной разведки характеризуются большими объемами и короткими сроками, отведенными на их выполнение. Для обеспечения эффективности проводимой радиационной разведки на данной стадии аварии, наряду с обычными переносными средствами контроля радиационной обстановки, целесообразно интенсивно использовать автоматизированные средства радиационного контроля ПРЛ. Передвижные радиометрические лаборатории, обладая высокой мобильностью, оснащены современными высокотехнологичными автоматизированными средствами и способны обеспечивать выполнение больших объемов работ по сбору, обработке и передаче данных о радиационной обстановке в реальном масштабе времени. Проведение радиационных измерений в ходе разведки осуществляется, опираясь на требования существующих рекомендаций по проведению радиационных измерений, а также инструкций на применение измерительного оборудования [6, 7, 8].

ПРЛ двигаясь по установленным маршрутам могут вести контроль радиационной обстановки не только автоматизированными средствами установленных в них, но и на коротких остановках с использованием дозиметрических и спектрометрических приборов. При этом, опираясь, в том числе, на чернобыльский опыт, измерения рекомендовано проводить в стороне от дорожного полотна. Это позволяет получить более достоверное

значение, характеризующее радиационную обстановку, что связано, прежде всего, с движением транспортных средств и создаваемыми вихревыми потоками.

На радиоактивно загрязненных территориях, в том числе, возникших в результате аварии на Чернобыльской АЭС регулярно проводится радиационное обследование компонентов природной среды [9].

При этом предусмотрено использование ПРЛ, которые входят в состав Комплексных систем мониторинга за состоянием защиты населения на радиоактивно загрязненных территориях (КСМ-ЗН). Эти лаборатории на данных территориях в первую очередь могут быть задействованы для проведения экспресс оценки обстановки при ее осложнении на радиоактивно загрязненных территориях, которое может быть вызвано, в том числе, природными стихийными явлениями.

После стабилизации радиационной обстановки, радиационная разведка, должна проводиться периодически методом контрольных точек. Контрольные точки назначаются на маршруте движения средств разведки через 1...2 км. На объектах, например, в населенных пунктах через 150...200 м. Каждая такая точка может обозначаться на местности либо привязываться к заметному ориентиру. Контроль уровня мощности дозы радиационного излучения ведется также и в ходе движения между контрольными точками [10].

Маршруты движения ПРЛ по различным возможным ЧС радиационного характера должны разрабатываться заранее, при этом могут использоваться различные методы по обоснованию и оптимизации этих маршрутов. Обычным методом является разработка и прокладывание маршрута с использованием карты, опираясь на исходные данные по возможной ЧС радиационного характера, физико-географическим и демографическим данным территорий, в том числе, дорожной сети и проходимости местности для транспортной базы ПРЛ, а также наиболее вероятным метеорологическим условиям.

В районе нахождения объекта использования атомной энергии (ОИАЭ), на котором предполагается аварийная ситуация, такие маршруты могут определяться вблизи санитарно-защитных зон объекта, но с учетом, в первую очередь, характера, объемов выброса, дорожной сети, степени защищенности ПРЛ и ее персонала от радиоактивного излучения.

В субъектах РФ, расположенных рядом с районом аварии, маршруты для ведения радиационной разведки с использованием ПРЛ целесообразно определять вдоль границ субъекта в направлении района аварии с учетом дорожной сети в целях раннего обнаружения радиоактивного загрязнения территории субъекта РФ, экспресс оценки радиационной обстановки и дальнейшего контроля складывающейся радиационной обстановки.

Маршруты движения ПРЛ могут разрабатываться при помощи программно-аппаратных комплексов, предназначенных для прогностической оценки развития аварийной ситуации на ОИАЭ. В ходе такой проработки маршрутов могут определяться задаваемые точки для проведения измерений и возможные расчетные показатели, характеризующие радиационную обстановку по радиационному фону и спектрометрии. Для выполнения этой задачи может быть использована, например, система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС «Нострадамус». Данная система получила широкое применение в территориальных автоматизированных системах контроля радиационной обстановки [11, 12].

Заранее разрабатываемые маршруты движения ПРЛ могут быть обоснованы на основе прогноза возможных аварийных ситуаций. На радиоактивно загрязненных территориях, например, в Брянской области такие маршруты должны быть разработаны заранее, как на случай осложнения обстановки, например, при пожарах в радиоактивных лесах, так и на случай аварийных ситуаций на ОИАЭ, в результате которых возможно дополнительное радиоактивное загрязнение территорий данной области. В качестве примера вариант подобного маршрута, обоснованный исходя из анализа исходных данных по заданной аварийной ситуации, радиационной обстановке, физико-географическим условиям и ре-

зультатам расчетов с использованием компьютерной системы «Нострадамус» приведен на рис. 2. По результатам моделирования аварийной ситуации на АЭС, находящейся от Брянской области в северо-западном направлении, при преимущественном южном и юго-восточном ветре и заданных наиболее вероятных условиях состояния атмосферы был обоснован маршрут патрулирования для ПРЛ от н. п. Красная гора до н. п. Дятьково.

Расчетные данные по этому маршруту приведены в табл. 3.

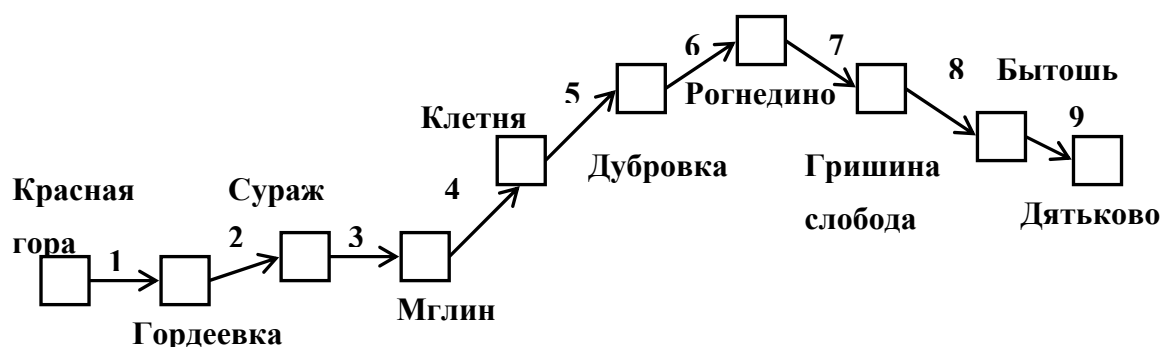


Рис. 2. Вариант маршрута движения ПРЛ для ведения радиационного контроля

Таблица 3

Расчетные данные по маршруту ПРЛ

№. п/п	Маршрут	Расстояние, км	Расчетная скорость*, км/ч	Расчетное время, мин.
1	Красная гора - Гордеевка	27	43	38
2	Гордеевка - Сураж	42	43	58
3	Сураж - Мглин	36	39	56
4	Мглин - Клетня	63	43	87
5	Клетня - Дубровка	53	46	69
6	Дубровка - Рогнедино	16	34	28
7	Рогнедино - Гришина слобода	40	23	106
8	Гришина слобода - Бытошь	42	45	56
9	Бытошь - Дятьково	36	45	48
	<b>Красная гора- Дятьково</b>	<b>355</b>	<b>39</b>	<b>546</b>

\* расчетная скорость на участках определена с учетом состояния дорог

Анализ результатов расчетов (см. табл. 3) показал, что расчетное время выполнения задачи ПРЛ на таком маршруте составляет около 9 часов. Это позволяет сделать вывод о том, что передвижная радиометрическая лаборатория в условиях режима повышенной готовности – при угрозе возникновения ЧС и режима ЧС – при возникновении и ликвидации ЧС способна ежедневно выполнять контроль радиационной обстановки на данном маршруте. Это, возможно, прежде всего, благодаря автоматизированным средствам контроля радиационной обстановки, которыми оснащена ПРЛ.

Сравнительный анализ и результаты расчетов средних скоростей выполнения задач ПРЛ и ряда обычных переносных средств радиационного контроля, использующих транспортное средство, на подобных маршрутах показали, что в среднем скорость вы-

полнения задач ПРЛ при одинаковых заданных условиях может быть в 2,5 раза выше. Это позволяет судить о том, что применение ПРЛ значительно эффективнее.

Опыт развития аварий на ОИАЭ показывает, что аварии развиваются при существенной неопределенности прогнозов времени, мощности выбросов и условий распространения РВ в окружающей среде [13].

Поэтому заблаговременная разработка маршрутов ПРЛ для проведения радиационной разведки и реагирования на радиационные инциденты сталкивается с рядом неопределенностей, существенных для планирования маршрутов ПРЛ в части:

- параметров радиационного выброса, таких как высота выброса, радионуклидный состав, продолжительность;

- параметров распространения радиоактивного выброса в атмосфере во время выбросов.

Кроме того, задача усложняется необходимостью обеспечения безопасности экипажа ПРЛ во время проведения радиационного обследования в части превышения допустимых дозы облучения, одновременно с требованием выполнить задачу по получению необходимых параметров аварийного выброса, загрязнения территорий для принятия решений по неотложным контрмерам.

Так же необходимо отметить, что возможность определения параметров радиационного выброса и загрязнения территорий зависит от таких факторов как минимальные величины мощности дозы, детектируемые аппаратурой ПРЛ, неравномерность распределения загрязнения в пространстве, частота радиационных измерений автоматизированных средств, потребность в проведении на местности дополнительных контрольных дозиметрических и спектрометрических измерений и отбора проб на маршруте движения ПРЛ.

Детерминисткое рассмотрение ограниченного набора аварийных сценариев весьма ограниченно позволяет учесть перечисленные выше неопределенности при заблаговременном планировании. Перспективным для решения задачи заблаговременного планирования и оптимизации маршрутов ПРЛ при радиационных авариях представляется использование методологии методов вероятностного анализа безопасности третьего уровня ОИАЭ (ВАБ-3 ОИАЭ), который позволяет получить функции распределения вероятности случайных величин, характеризующие радиационные аварии, таких как [14]:

- индивидуальные дозы облучения на территории;

- мощности доз на территории;

- радиоактивные выпадения на территории;

- коллективные дозы облучения;

- население с дозами, превышающими определенный уровень;

- размер территорий с загрязнением, превышающим определенный уровень.

Указанные функции распределения характеристик радиационной аварии в сочетании с дорожно-географической обстановкой конкретного региона дают возможность провести заблаговременное планирование маршрутов ПРЛ с учетом неопределенности развития аварии на начальном периоде и местных условий. База вариантов таких маршрутов ПРЛ позволит даже при недостатке информации оперативно приступить к выполнению задач по проведению радиационной разведки при дальнейшей коррекции поставленных задач по мере поступления дополнительной информации, а также заблаговременно оценить возможность и достаточность имеющихся ПРЛ по решению задач обеспечения аварийного реагирования.

### Литература

1. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Попов Е.В., Гаврилов С.Л., Шикин С.А., Пименов А.Е. Территориальные АСКРО и перспективы использования вероятностного анализа безопасности третьего уровня (ВАБ-3) для оптимизации размещения постов контроля. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2018, № 4, с. 66–78.



2. 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.

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

4. Радиационная и химическая безопасность населения / Монография / В.А. Владимиров, В.И. Измалков, А.В. Измалков; МЧС России, М.: Деловой экспресс. - 2005, 544 с.

5. Л.Дж. Апплби, Л. Девелл, Ю.К. Мишра и др. Пути миграции искусственных радионуклидов в окружающей среде. Радиоэкология после Чернобыля: Пер. с англ./ Под ред. Ф. Уорнера и Р. Харрисона. – М.: Мир. - 1999, 512 с.

6. Р52.18.863-2017. Рекомендации. Методика определения радиационного фона по данным мониторинга радиационной обстановки. Обнинск. - 2017, 42 с.

7. РД52.18.691-2007. Руководящий документ. Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации. Руководство по наземному дозиметрическому обследованию территорий и населенных пунктов, ГУ НПО "Тайфун". - 2008 г.

8. РД 52.18.693-2007. Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки на территории Российской Федерации. Руководство по радиационному мониторингу загрязненных территорий на поздней фазе радиационной аварии. ГУ НПО "Тайфун". - 2008 г.

9. РД 52.18.766-2012. Руководство по радиационному обследованию компонентов природной среды, на территориях подвергшихся радиоактивному загрязнению вследствие катастрофы на Чернобыльской атомной станции. Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». - 2013 г.

10. Методические рекомендации по действиям подразделений РХБ защиты спасательных воинских формирований МЧС России при ликвидации последствий радиационных аварий. № 2-4-71-20-14 от 4.05.2016 г. МЧС России. - 2016 г., 107 стр.

11. НОСТАДАМУС. Компьютерная система прогнозирования и анализа радиационной обстановки на ранней стадии аварии на АЭС. М.: ИБРАЭ РАН. - 2001.

12. Попов Е.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Гаврилов С.Л., Седнев В.А., Лысенко И.А.. Анализ информационно-моделирующих систем поддержки принятия решений при реагировании на чрезвычайные ситуации радиационного характера // Технологии техносферной безопасности. - 2019, № 2 (84), с. 119–131.

13. Пантелеев В.А., Сегаль М.Д. Состояние и роль пятого уровня глубокоэшелонированной системы защиты АЭС, – Атомная энергия. - 2019, т. 126, вып. 5, с. 290–295.

14. Арутюнян Р.В., Пантелеев В.А., Сегаль М.Д., Панченко С.В. Вероятностный анализ безопасности третьего уровня ВАБ-3 как этап повышения безопасности АЭС, – Атомная энергия. - 2017, т. 123, № 6, с. 344–349.

### **Сведения об авторах**

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

**Пантелеев Владимир Александрович** — старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, (495) 955-22-14, e-mail: pant@ibrae.ac.ru

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

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

**Пименов Артем Евгеньевич** — старший научный сотрудник ИБРАЭ РАН, (495) 955-22-84; e-mail: artisl@ibrae.ac.ru