

# **Разработка и создание передвижных радиометрических лабораторий для региональных систем аварийного реагирования**

*С. Л. Гаврилов, В. Н. Долгов, В. П. Киселёв, Н. Н. Сёмин, С. Е. Сиротинский, С. А. Шикин (ИБРАЭ РАН), Ю. Н. Мартынюк, В. А. Чернышев (ООО «НПП «Доза»»), О. В. Шеметов (ООО «Автоспектр-НН»)*

## **1. Введение**

Передвижные радиометрические лаборатории (ПРЛ) широко применяются для радиационных измерений на местности как при аварийных ситуациях с радиационным фактором, так и для регулярных рутинных измерений. Спектр создаваемых передвижных лабораторий по функциям, конструкции, составу, назначению, комплектации и т. д. настолько широк, что необходима некоторая условная классификация. ПРЛ можно 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 аварийного объекта строятся на базе шасси тяжелых автомобилей, например, типа БТР с использованием специальных усиленных средств радиационной защиты персонала и основных агрегатов (приточно-вытяжной вентиляции с системами фильтрации, дополнительных свинцовых экранов на днище и боковинах кузова, дополнительной фильтрации воздуха, поступающего в двигатель, и т. п.). Основное назначение такой лаборатории — радиационная разведка в зоне поражения, в том числе с элементами спектрометрии, отбор проб почвы, воздуха для дальнейшего анализа.

Имеются примеры разработки таких лабораторий и с установкой аналитического оборудования, в том числе для радиохимического разделения элементов.

Для анализа проб в непосредственной близости от зоны поражения обычно используют передвижные аналитические лаборатории на базе шасси тяжелых грузовиков «Урал», «КамАЗ», оснащенных герметичными кузовами-фургонами. В таких машинах устанавливают радиохимическое, гамма-, альфа- и бета-спектрометрическое оборудование. Иногда они оборудуются даже установками по производству жидкого азота для охлаждения полупроводниковых спектрометрических детекторов. Часто такие лаборатории имеют также комплекты

оборудования индивидуального дозиметрического контроля с устройствами считывания и хранения архивов. Кроме того, ПРЛ нередко укомплектовывают оборудованием для дезактивации личного состава с целью предотвращения заноса загрязненного грунта и пыли внутрь «чистого» кузова-фургона.

Для таких лабораторий дополнительные средства пассивной защиты уже не так актуальны, так как они используются в относительно чистых местах. Таким образом, основная их функция — анализ доставляемых проб и обеспечение индивидуального дозиметрического контроля персонала, участвующего в ликвидации аварии.

На базе тяжелых шасси строят также и передвижные метрологические лаборатории для поверки и калибровки измерительного оборудования в непосредственной близости от проводимых противоаварийных работ.

*Легкие лаборатории*, как правило, строятся на базе шасси микроавтобусов («Газель», «Форд Транзит», «Фольксваген Крафтер» и т. п.) или автомобилей повышенной проходимости и обычно применяются для оконтуривания зон радиационного загрязнения, обследования населенных пунктов вблизи границ зон загрязнения с целью принятия решений о переселении населения, для текущего радиационного контроля, в том числе и в качестве дополнения к стационарным системам АСКРО. В таких машинах не применяются дополнительные меры радиационной защиты персонала, а особое внимание уделяется разнообразным средствам измерения и связи для оперативной обработки и передачи полученных данных.

Именно о таких передвижных лабораториях и пойдет речь ниже.

За последние десять лет ИБРАЭ РАН совместно с НПП «Доза» и ООО «Автоспектр-НН» разработали и создали около двадцати передвижных радиометрических лабораторий в рамках международных проектов и отечественных программ для использования в системах противоаварийного реагирования Мурманской, Архангельской, Тверской, Курской и ряда других областей. Переоборудование первых пяти ПРЛ выполнялось совместно со специализированным предприятием ООО «Автолик» (Нижний Новгород).

## **2. Основное назначение и функции ПРЛ**

Основное назначение ПРЛ — радиационная разведка и уточнение радиационной обстановки на местности как в аварийных ситуациях, так и при плановых радиационных обследованиях территорий.

Передвижные лаборатории способны выполнять следующие функции:

- обнаружение радиоактивных источников и загрязнений;
- оконтуривание загрязненных территорий;

- определение основных характеристик радиоактивных загрязнений:
  - мощности амбиентного эквивалента дозы на местности;
  - нуклидного состава загрязнений или источников;
  - наличия альфа- и бета-излучающих радионуклидов;
  - наличия 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.

### 3. Оборудование ПРЛ

Для выполнения перечисленных функций передвижные лаборатории комплектуются измерительным оборудованием, компьютерной системой включая прикладное программное обеспечение (ПО), средствами навигации, связи и видеофиксации. Кроме того, в комплект ПРЛ входят пробоотборные устройства воздуха, воды и грунта и вспомогательное оборудование.

Структурная схема оборудования ПРЛ и его взаимосвязи представлены на рис. 1.

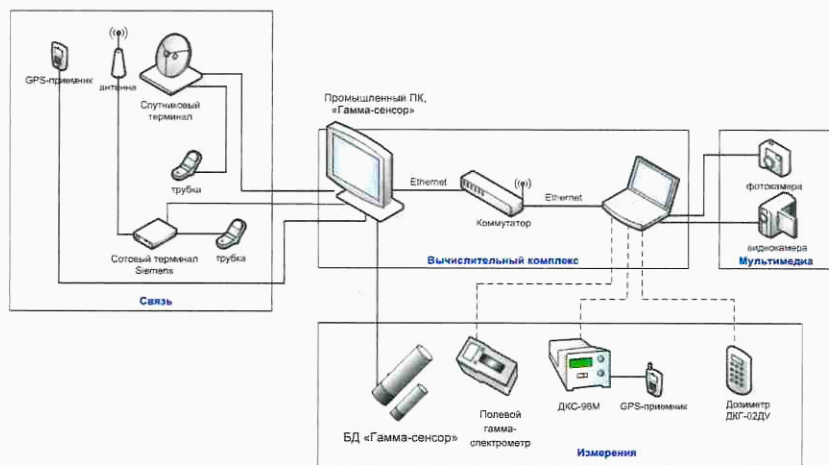


Рис. 1. Структурная схема оборудования ПРЛ и его взаимосвязи

**Спектрометрическое оборудование.** Основным средством измерения является стационарно размещенная в автомобиле спектрально-чувствительная дозиметрическая установка «Гамма-сенсор» (рис. 2). Она предназначена для проведения гамма-съемки на местности, определения нуклидного состава радиоактивного загрязнения или радиоактивного источника, определения

координат измерений с помощью GPS-приемника, нанесения данных на электронную карту, ведения базы данных и передачи данных в кризисный центр. Установка состоит из электронного блока и блока детекторов. Электронный блок стационарно установлен на рабочем столе в лабораторном отсеке. Он состоит из аналого-цифрового преобразователя, спутниковой навигационной системы, блоков питания и промышленного компьютера «Advantech» (рис. 2). Блок детекторов состоит из спектрометрического сцинтилляционного детектора БДЭГ-4 и блока детектирования мощности дозы гамма-излучения БДМГ-200.

Кроме того, передвижная лаборатория комплектуется портативными полевыми гамма-спектрометрами МКС-А03 или МКС-АТ6101 (рис. 3).



Рис. 2. Установка «Гамма-сенсор» на базе компьютера «Advantech» с блоками детектирования БДЭГ-4 и БДМГ-200



Рис. 3. Полевые портативные гамма-спектрометры МКС-03А (а) и МКС-АТ6101 (б)



**Радиометрическое оборудование.** Стандартный набор радиометрического и дозиметрического оборудования приведен на рис. 4.



**Рис. 4.** Радиометрическое и дозиметрическое оборудование ПРЛ: *а* — дозиметр-радиометр ДКС-96М с гамма- датчиком; *б* — сменные блоки детектирования к ДКС-96: БДЗА-96т, БДПГ-96, БДКС-96с; *в* — дозиметр ДКГ-02У «Арбитр»

**Средства связи.** Основные средства связи ПРЛ — сотовые GSM-роутеры (терминалы) для передачи данных и спутниковые терминалы и сотовые телефоны для передачи данных и для голосовой связи. Предусмотрены также УКВ-радиостанции для голосовой связи между членами экипажа и в ряде случаев с базовой станцией.

**Компьютерная система.** Штатная компьютерная система передвижной лаборатории состоит из промышленного панельного компьютера «Advantech» PPC-154Т (или аналогичного) и дополнительного портативного компьютера типа ноутбук. Для удобства работы в передвижной лаборатории организована локальная вычислительная сеть, в которую кроме штатных компьютеров могут быть подключены любые дополнительные. Подключение осуществляется как по проводной, так и по беспроводной технологии (Wi-Fi).

Выход в Интернет возможен через сотовый терминал/роутер («Siemens MC-35i», iRZ RUH2 и т. п.) или спутниковый терминал («NERA Voyager», «Thrane&Thrane Explorer 727», «Thrane&Thrane Explorer 700» и т. п.).

Кроме того, передвижная лаборатория оснащена устройствами для отбора и перевозки проб воздуха, воды и грунта (рис. 5).



*а*



*б*



*в*

Рис. 5. Пробоотборные устройства: *а* — устройство отбора проб воздуха ПУ-5; *б* — пробоотборник грунта ПГ-200; *в* — пробоотборник воды СП-2

В состав вспомогательного оборудования ПРЛ входят: защитная спецодежда, индивидуальные средства защиты, шанцевый и монтажный инструмент, средства дезактивации, предупреждающие знаки и приспособления для ограждения участков территорий.

#### **4. Прикладное программное обеспечение ПРЛ**

Прикладное программное обеспечение (ППО) ПРЛ предназначено для решения следующих задач.

*Сбор данных со всех блоков детектирования, установленных в ПРЛ. В случае автономных приборов с собственной памятью ППО ПРЛ обеспечивает считывание и отображение данных измерения из памяти этих приборов.*

*Отображение информации при измерении мощности эквивалентной дозы (МЭД) по маршруту следования.*

*Хранение информации.* Осуществляется с записью всех измеренных значений в текстовый файл либо локальную базу данных.

*Анализ спектрального состава гамма-излучения.* ППО производит анализ спектров с целью идентификации основных дозообразующих нуклидов. В состав ППО входит база данных с основными характеристиками радиоактивных нуклидов.

*Обмен данными с кризисными центрами.* ППО обеспечивает передачу данных в кризисные центры по любому доступному каналу связи. Выбор оптимального канала связи и протокола передачи информации возлагается на оператора ПРЛ. Предусмотрены два режима работы:

- непрерывная автоматическая передача информации о положении ПРЛ и измерении МЭД по маршруту с заданным интервалом времени;
- передача накопленной информации по команде оператора ПРЛ.

*Организация работы локальной вычислительной сети.* ППО обеспечивает работу локальной вычислительной сети ПРЛ. С использованием средств операционной системы обеспечивается доступ к общим ресурсам: накопленным данным измерений, принтеру, каналу выхода в Интернет. Имеется возможность подключения к локальной сети других компьютеров и оборудования.

**Структура ППО.** Прикладное программное обеспечение ПРЛ состоит из следующих основных частей.

*Программное обеспечение измерительных систем* обеспечивает функционирование измерительного оборудования, обработку, представление и хранение данных.

*Программное обеспечение для связи с локальными измерительными системами* позволяет организовать информационный обмен автономных измерительных приборов с центральным (или вспомогательным) компьютером для считывания буфера данных, полученных при автономных измерениях.

*Программное обеспечение локальной вычислительной сети (ЛВС)* обеспечивает информационный обмен между компьютерами ПРЛ включая возможность быстрого подключения дополнительных компьютеров в случае необходимости.

*Программное обеспечение для передачи данных* обеспечивает передачу данных во время измерений в кризисные центры в режиме онлайн.

*Картографическая система* предназначена для наглядного и удобного отображения измеренных результатов на электронной карте на мониторе компьютера.

**ПО «Сенсор».** Специализированное программное обеспечение «Сенсор» разработано в НПП «Доза» специально для работы с дозиметрической установкой «Гамма-сенсор».

Программа «Сенсор» предназначена для осуществления связи между компьютером, аналого-цифровым преобразователем (АЦП) и спутниковой навигационной системой GPS, своевременной записи данных на диск, работы с АЦП и GPS, расчета МЭД в точке расположения детектора и оценки вклада излучения радионуклидов в дозу. Программа позволяет вести базу полученных данных и передавать ее в Microsoft Excel для дальнейшей обработки.

Программа «Сенсор» отображает на экране набранный спектр, позволяет менять горизонтальный и вертикальный масштабы, проводить энергетическую калибровку, очищать буфер АЦП, останавливать и запускать измерение. Одновременно с энергетическим спектром на экране в окне «Спектрометр» можно наблюдать дозовый спектр. В отличие от энергетического гамма-спектра дозовый спектр представляет собой распределение вклада от гамма-квантов различных энергий в общую дозу за истекший период между двумя записями. Дозовый спектр обновляется каждый раз при расчете мощности дозы.

Программа «Сенсор» имеет модуль «Диспетчер-компоновщик», который следит за таймером реального времени, обеспечивая сбор данных со всех систем и их запись на диск через установленные пользователем промежутки времени. Диспетчер-компоновщик позволяет одновременно вести диалог с пользователем, выполнять функции спектрометра и навигационной системы по отдельности, а также отображать на экране текущее значение эквивалентной дозы, энергетический и дозовый спектры (рис. 6). Диспетчер-компоновщик ведет контроль за превышением контрольного уровня мощности дозы и сообщает об этом звуковым сигналом и соответствующей записью на экране.

В процессе работы программа «Сенсор» контролирует диапазон измеряемой мощности дозы и при необходимости выдает рекомендацию на переключение диапазона.

В режиме работы с файлами можно просмотреть данные, сохраненные на диске компьютера. Они представлены в виде строк-записей, содержащих время записи, географические координаты точки измерения, мощность дозы и комментарии. Все данные можно редактировать, а комментарии вставлять или изменять во время работы, отмечая, таким образом, важные моменты для упрощения последующей расшифровки. Отметив интересные строки, можно наблюдать на экране спектр, который накопился за время, прошедшее между отмеченными записями.



Программа «Сенсор» позволяет производить различные операции со спектрами, осуществлять сглаживание, вычитание, поиск пиков, проверку калибровки энергетической шкалы спектрометра, калибровку энергетической шкалы, работу с базами данных.

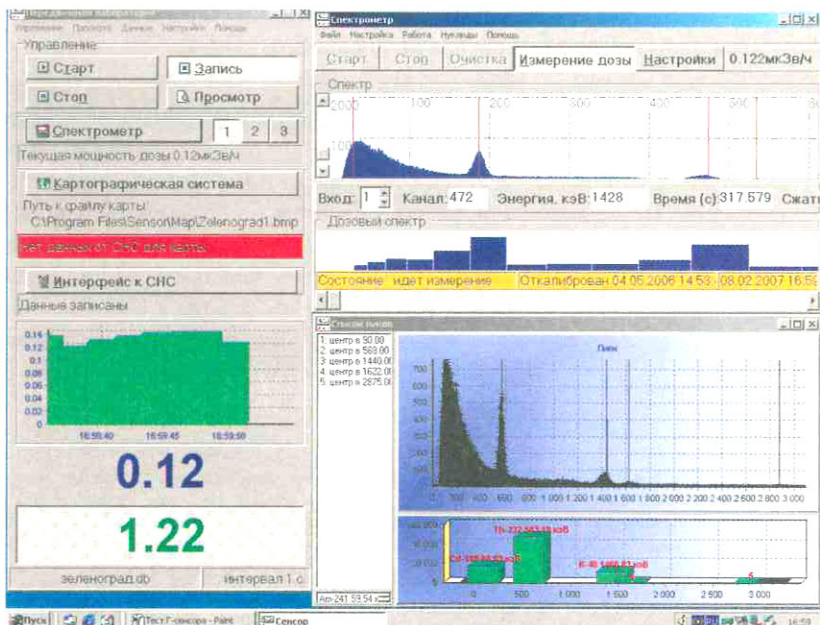


Рис. 6. Рабочий экран программы «Сенсор»

Калибровка спектрометра производится методом линейной аппроксимации по двум точкам. Проверку калибровки энергетической шкалы спектрометра необходимо производить каждый раз после включения и прогрева аппаратуры. Для калибровки снимается спектр контрольного источника  $^{22}\text{Na}$  (режим «Автокалибровка»).

**ПО для сбора данных с автономных приборов.** Для записи результатов измерений, выполненных автономными измерительными устройствами, разработаны специализированные программы записи. Они позволяют сохранить результаты измерений в базах данных на основном и вспомогательных компьютерах.

Эти программы позволяют осуществить связь со следующими приборами:

- портативным гамма-спектрометром МКС-А03;
- радиометром ДКС-96;
- портативным дозиметром ДКГ-02У («Арбитр»);
- портативным гамма-спектрометром МКС-АТ6101.

**ПО для передачи данных.** В ПО «Сенсор» имеется возможность включения/выключения непрерывного режима передачи данных. При включении этого режима программа начинает запись данных в заданный каталог. Передаются значения, получаемые от блока детектирования, время, координаты. При выключении режима запись файлов в каталог прекращается. Интервал формирования файлов задается при установке программы.

Для отправки данных с ПРЛ на сервер системы используется программа FileX3, разработанная в Автономной некоммерческой организации «Центр анализа безопасности энергетики при ИБРАЭ РАН». Она просматривает каталог файлов, в который ПО «Сенсор» записывает данные измерений. Если в заданном каталоге находятся файлы с данными, программа производит их отправку по протоколу TCP/IP на сервер системы, где соответствующее ПО производит запись результатов измерений в базу данных. На рис. 7 показано главное окно программы во время отправки файлов.

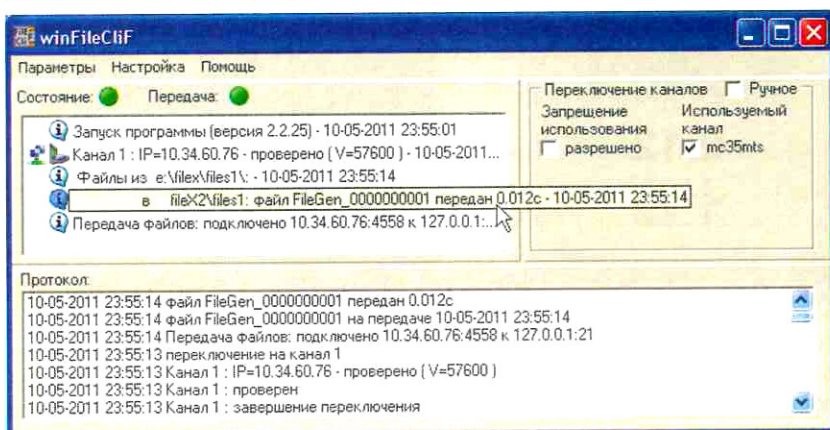


Рис. 7. Главное окно программы WinFileCliX

Кроме указанных выше возможностей программа WinFileCliX позволяет:

- при доступности нескольких каналов передачи данных автоматически выбирать из них наиболее дешевый;
- управлять RAS-подключением, т. е. соединением удаленного доступа, самостоятельно инициируя отключение / подключение / переподключение / сброс соединения в зависимости от динамически изменяющихся условий.

Также в программу входят автоматические средства, препятствующие зависанию соединения и всей операционной системы в целом (рис. 8):

- перезагрузка операционной системы при фатальных ошибках удаленного доступа;

- перезагрузка операционной системы при отсутствии передачи файлов (если они есть в наличии);
- перезапуск устройств при ошибках соединения удаленного доступа (RASdial);
- выключение и включение модемов и отправка команды сброса для модемов.

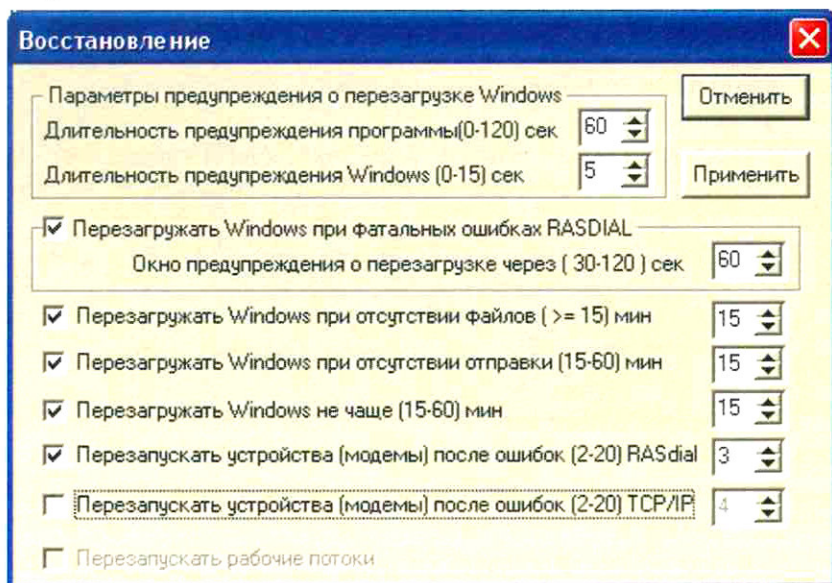


Рис. 8. Функции программы WinFileCliX для восстановления соединения

## 5. Конструктивные особенности ПРЛ

В зависимости от условий эксплуатации создавались передвижные лаборатории как на базе легких грузовых фургонов («Форд Транзит», «Фиат Дукато» и подобных), так и на базе внедорожников («Лендровер Дефендер», «Мицубиси Паджеро Спорт»).

ПРЛ на базе цельнометаллического фургона представляет собой базовый автомобиль, переоборудованный в передвижную лабораторию, предназначенную для автономной работы в полевых условиях в течение длительного времени. Для обеспечения нормальных условий работы экипажа и функционирования аппаратуры автомобиль оснащен системами внутреннего отопления, кондиционирования, освещения и автономного электропитания. Как правило, кузов автомобиля разделен на три отсека: водительский, лабораторный и грузовой. Автомобиль оборудован специальной лабораторной

мебелью для размещения измерительного оборудования и прочих приборов, рабочими местами экипажа. Три места экипажа находятся в водительском отсеке, два — в лабораторном отсеке. Предполагаемая численность экипажа — три-пять человек включая водителя.

На борту имеется комплекс оборудования радиационного контроля, состоящий из бортовой установки для гамма-съемки местности, переносных измерительных приборов и систем для отбора проб растительности, воды, почвы и воздуха. Комплекс оборудования позволяет решать весь объем задач, возникающих при радиационной разведке, в том числе в условиях радиационной аварии.

В ПРЛ, базирующихся на основе цельнометаллических фургонов, питание технических средств осуществляется однофазным напряжением переменного тока 220 В, 50 Гц.

При движении автомобиля и в отсутствии внешних сетей 220 В питание технических средств осуществляется системой автономного питания, в состав которой входят преобразователь 12 В — 220 В МАП «Энергия» или Mobil-Ep и аккумулятор емкостью 190—200 А·ч. Время автономной работы — 7—9 ч в зависимости от применяемой нагрузки.

На стоянке помимо основной системы питания можно использовать внешнюю сеть питания 220 В или бензиновый генератор, входящий в комплект ПРЛ.

В салоне ПРЛ установлены евророзетки 220 В для подключения электрооборудования.

Максимальная мощность основной системы питания — 1 кВт, суммарная потребляемая мощность — не более 300 ВА.

В последних разработках ПРЛ использовалось устройство развязки аккумуляторов УРА 200, которое позволяло заряжать дополнительный аккумулятор от бортовой сети автомобиля при условии полной зарядки штатной батареи. Зарядка дополнительного аккумулятора начиналась при напряжении на основной батарее более 13,2 В.

Внешний вид ПРЛ на базе грузового фургона «Фиат Дукато» представлен на рис. 9.





Рис. 9. Внешний вид ПРЛ на базе грузового фургона «Фиат Дукато»

**ПРЛ на базе внедорожника.** В ряде случаев, когда ПРЛ предполагалось использовать в основном в условиях неудовлетворительного состояния дорожного покрытия и частично бездорожья, были созданы лаборатории на базе автомобилей повышенной проходимости. Использовались автомобили «Лендровер Дефендер 110» (рис. 10) и «Мицубиси Паджеро Спорт».



Рис. 10. Внешний вид ПРЛ на базе внедорожника «Лендровер Дефендер 110»



## **6. Участие передвижных лабораторий в учениях**

Передвижные радиометрические лаборатории, разработанные и созданные нами в последние семь лет, активно использовались при проведении командно-штабных учений по противоаварийному реагированию на чрезвычайную ситуацию с радиационным фактором. Наиболее крупные учения с использованием описываемых ПРЛ:

- командно-штабные учения «Заполярье-2007» на филиале № 1 ФГУП «СевРАО», губа Андреева (Мурманская область), 24 октября 2007 г.;
- тактико-специальные учения «Арктика-2008» на ОАО «ЦС “Звездочка”», Северодвинск (Архангельская область), 30 июля — 1 августа 2008 г.;
- комплексные противоаварийные учения на Балаковской АЭС (Саратовская область) совместно с концерном «Росэнергоатом», 2009 г.;
- командно-штабные учения «Арктика-2010» на СРЗ «Нерпа» (филиал ОАО «ЦС “Звездочка”»), Снежногорск-2 (Мурманская область), 28—29 июля 2010 г.;
- командно-штабные учения с органами управления, силами и средствами территориальной и функциональных подсистем РСЧС Курской области по ликвидации чрезвычайной ситуации радиационного характера, Курск, 25 октября 2011 г.;
- командно-штабные учения «Арктика-2012» на базе отделения «Сайда-Губа» СЗЦ по обращению с радиоактивными отходами «СевРАО», Снежногорск-2 (Мурманская область), 20—21 июня 2012 г.

## **7. Заключение**

В настоящее время в России разными компаниями производится довольно много передвижных радиометрических лабораторий различных комплектации и исполнения. При этом ПРЛ, созданные в ИБРАЭ РАН совместно с НПП «Доза» и ООО «Автоспектр-НН», имеют целый комплекс преимуществ:

- гамма-съемка на местности производится с координатной привязкой и автоматическим определением вклада в общую мощность дозы основных дозообразующих нуклидов;
- результаты измерений передаются в кризисный центр в режиме реального времени, где они сразу отображаются в наглядном виде на географической подложке с помощью геоинформационных систем;
- для передачи данных в режиме реального времени используется как сотовая, так и спутниковая связь;
- в ПРЛ организована проводная и беспроводная локальная сеть, позволяющая подключать дополнительные мобильные компьютеры в случае привлечения дополнительных специалистов и экспертов;
- имеется опыт создания ПРЛ на базе внедорожников с автономным измерительным оборудованием.