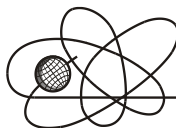




Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



ИБРАЭ

RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № ИБРАЭ-2002-05

Preprint IBRAE-2002-05

**В. В. Беликов, С. А. Богатов, С. Л. Гаврилов, В. А. Данилян, В. П. Киселев,
В. Н. Семенов, Д. Н. Токарчук**

**ОЦЕНКА РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ
НЕКОТОРЫХ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ ИНЦИДЕНТОВ
НА ОБЪЕКТАХ «ДАЛЬРАО»**

Беликов В.В., Богатов С.А., Гаврилов С.Л., Данилян В.А., Киселев В.П., Семенов В.Н., Токарчук Д.Н. ОЦЕНКИ РАДИОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ НЕКОТОРЫХ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ ИНЦИДЕНТОВ НА ОБЪЕКТАХ «ДАЛЬРАО». Препринт № ИВРАЕ-2002-05. Москва: Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН, 2002. 30 с. — Библиогр.: 31 назв.

В работе рассмотрены радиационные последствия от падения летательных аппаратов на территорию бывших береговых технических баз ТОФ, переданных на реабилитацию Минатому и ставших объектами «ДальРАО» — технических площадок «бухта Сысоева» и «бухта Горбушечья». В качестве летательных аппаратов рассматривались палубный истребитель и противокорабельная крылатая ракета. Показано, что основным механизмом формирования радиоактивного облака в случае падения самолета будет пожар, вызванный горением топлива, оставшегося на борту в момент падения. Пожар приводит к подъему поверхностного загрязнения с площади радиусом около 13 м. Выброс при взрыве ракеты формируется мелкодисперсными частицами из диспергированного взрывом материала. Для количественных оценок активности выброса использовались размеры взрывной воронки. Рассмотрены последствия падения летательных аппаратов на блок сухого хранения (сооружение № 30) и хранилище ТРО (сооружение № 31) объекта «бухта Сысоева» и хранилища ТРО (сооружения №№ 3 и 16) объекта «бухта Горбушечья». Проведенные оценки показывают, что радиологические последствия такого типа инцидентов могут сделать непригодными для проживания населенные пункты в радиусе несколько десятков километров от точки выброса

©ИВРАЭ РАН, 2002

Belikov V., Bogatov S., Gavrilov S., Danilyan V., Kiselev V., Semenov V., Tokarchyuk D. ASSESSMENT OF RADIOLOGICAL CONSEQUENCES FOR SOME HYPOTHETICAL ACCIDENTS AT “DALRAO” FACILITIES. Preprint IBRAE-2002-05. Moscow: Nuclear Safety Institute RAS, March 2002. 30 p. — Refs.: 31 items.

Radiological consequences resulted from aircraft fall have been considered for the sites of former coastal technical naval bases handed over to Minatom for remediation. At present technical sites “Sysoeva bay” and “Gorbushechya bay” are considered as “DalRAO” facilities. Carrier-plane and anti-ship missile were taken as the aircrafts. It has been indicated that basic mechanism of radioactive cloud generation after jet fall is a fire of fuel remaining on the board. Fire results in resuspension of surface contamination from the area of 26 meters in diameter. Release from missile explosion consists of fine-grained particles of destructed substance. Dimension of explosion crater was used to assess the release quantitatively. Following buildings were taken as potential sources of radioactive release: spent fuel storage (building 30) and solid waste storage (building 31) at the site “Sysoeva bay” and solid waste storage (buildings 3 and 16) at the site “Gorbushechya bay”. Assessments having been done indicate that consequences of such accidents can result in evacuation of population from the areas at the distance of dozens kilometer from the source.

©Nuclear Safety Institute, 2002

Оценки радиологических последствий некоторых гипотетических инцидентов на объектах «ДальРАО»

Беликов В.В., Богатов С.А., Гаврилов С.Л., Данилян В.А., Киселев В.П., Семенов В.Н., Токарчук Д.Н.

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
113191, Москва, ул. Б. Тульская, 52
тел.: (095) 955-22-36, факс: (095) 958-11-51, эл. почта: sbg@ibrae.ac.ru

Содержание

Содержание	3
1. Введение	4
2. Краткое описание выбранных объектов ФГУП «ДальРАО»	4
2.1. Филиал №1 ФГУП «ДальРАО»	4
2.2. БТБ в бухте Горбушечья – Филиал №2 ФГУП «ДальРАО»	7
3. Формирование выбросов при падениях летательных аппаратов	8
3.1. Попадание ракеты	8
3.1.1. Разрушения, вызванные попаданием ракеты	9
3.1.2. Образование взрывной воронки	9
3.1.3. Формирование выброса	9
3.2. Падение самолета	10
3.2.1. Механизм возникновения и протекания пожара	11
3.2.2. Подъем поверхностного загрязнения при пожаре	13
4. Вероятности исходных событий	14
5. Функции источника при рассматриваемых исходных событиях	15
5.1. Функция источника для исходного события, связанного с падением самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в бухте Сысоева (сооружение №5, Филиал №1)	15
5.2. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 31 Филиала №1	15
5.3. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ОТВС сооружения № 30 Филиала №1	17
5.4. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 3 Филиала №2	19
5.5. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 16 Филиала №2	20
6. Модель атмосферного переноса, использовавшаяся в расчетах	21
7. Анализ результатов расчетов радиационных последствий для рассматриваемых событий	23
7.1. Падение самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в бухте Сысоева (сооружение №5, Филиал №1)	23
7.2. Попадание противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 31 Филиала №1	24
7.3. Попадание противокорабельной ракеты в «сухое» хранилище ОТВС сооружения № 30 Филиала №1	26
7.4. Попадание противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 16 Филиала №2	28
8. Выводы	29
Литература	29

1. Введение

Для технического обеспечения атомных подводных лодок (АПЛ) в начале 60-х гг. на Тихоокеанском флоте были созданы две береговые технические базы (БТБ) – на полуострове Камчатка в бухте Горбушечья и в Приморском крае в бухте Сысоева. БТБ были созданы для проведения перезарядок активных зон реакторов АПЛ, хранения свежего и отработавшего ядерного топлива, радиоактивных отходов (РАО), перегрузки фильтров активности 1-го и 3-го контуров корабельных ядерных энергетических установок (ЯЭУ), переработки жидких радиоактивных отходов (ЖРО), сбора и хранения твердых радиоактивных отходов (ТРО). Наиболее высокой степенью радиационного риска сопровождаются работы по перезарядке активных зон реакторов, обращению с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и отходами высокой удельной активности. В настоящее время в хранилищах БТБ накоплено значительное количество ОЯТ и высокоактивных ТРО суммарной активностью порядка 150 ПБк, которые представляют потенциальную опасность для окружающей природной среды и населения близлежащих районов.

В соответствии с постановлением Правительства Российской Федерации от 28 мая 1998 г. № 518 БТБ переданы Минатому (ФГУП "ДальРАО") для дальнейшей эксплуатации и реабилитации. В состав ФГПУ «ДальРАО» входят 2 филиала:

- Филиал №1 в Приморском крае (г. Фокино, Шкотовский район);
- Филиал №2 на п/о Камчатка (г. Вилючинск).

Целью данной работы является оценка возможного радиационного воздействия на население поселков и городов Дунай, Фокино, Б.Камень, Вилючинск, Петропавловск-Камчатский при некоторых гипотетических инцидентах на объектах ФГУП «ДальРАО», которые были выбраны в качестве наиболее опасных. В качестве возможных исходных событий рассматривались падение палубного истребителя и противокорабельной ракеты, а в качестве наиболее опасных объектов выбраны хранилища ОЯТ и высокоактивных ТРО. Для Филиала №1 (б. Сысоева) это: разгруженное хранилище ОЯТ бассейнового типа (сооружение №5), «сухое» хранилище ОЯТ (сооружение №30) и хранилище твердых высокоактивных отходов (сооружение №31). Для Филиала №2 (б. Горбушечья) выбраны наиболее радиационно-опасные объекты - хранилища высоко- и среднеактивных ТРО (сооружения №3 и №16). Выбор произведен на основе оценок содержания активности радионуклидов в сооружениях и их уязвимости с точки зрения возможного разрушения защитных барьеров при предполагаемых техногенных воздействиях – падениях летательных аппаратов.

2. Краткое описание выбранных объектов ФГУП «ДальРАО»

2.1. Филиал №1 ФГУП «ДальРАО»

Филиал №1 предприятия «Даль РАО» включает следующие территориально-обособленные объекты:

- техническая площадка «бухта Сысоева». Удаленность от ближайшего поселка Дунай 3 км, от города Фокина около 23 км, площадь технической территории-60,6 га;
- техническая площадка «бухта Разбойник». Пункт временного хранения (ПВХ) в бухте Разбойник (удаленность от пос. Дунай 11 км, а от ЗАТО г. Фокино порядка 12 км), площадь технической территории 4 га. В перспективе, с учетом площадки длительного сухого хранения одноотсечных блоков утилизируемых АПЛ – площадь составит порядка 20 га. Протяженность периметра по суше 1200 м;
- перегрузочная железнодорожная площадка на 54 км ДВЖД.

Техническая площадка (БТБ) расположена в бухте Сысоева Японского моря. Карта окрестностей базы представлена на Рис. 1.

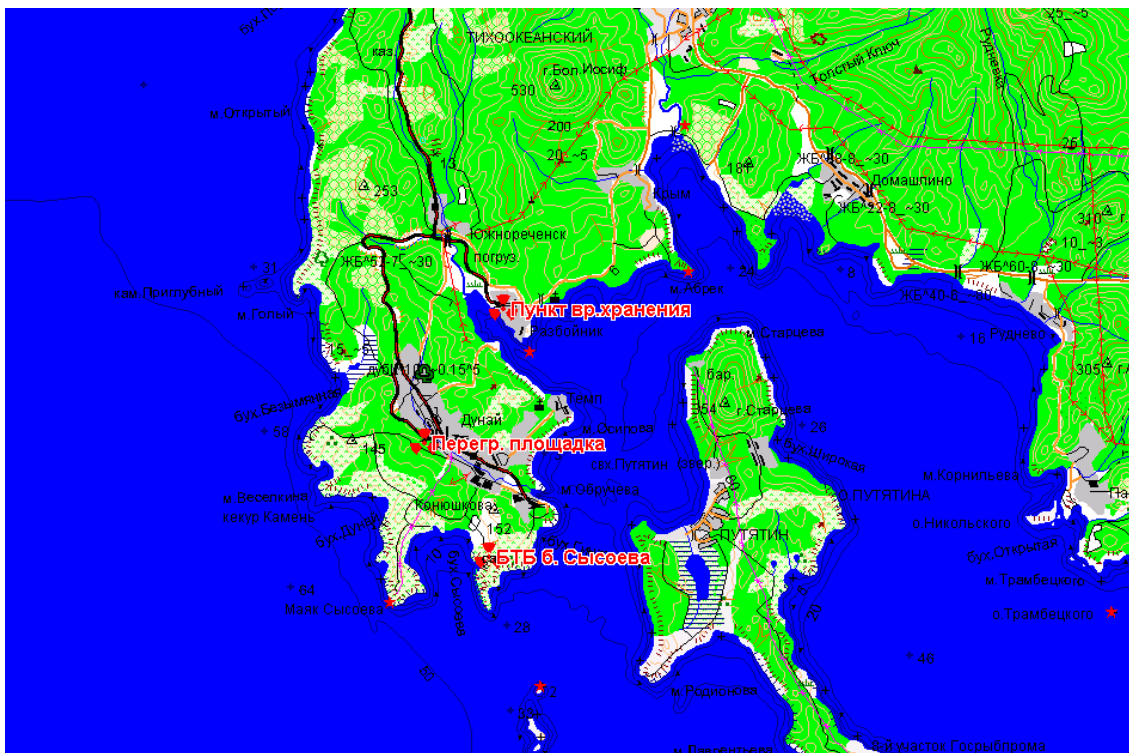


Рис. 1. Карта окрестностей филиала №1 ФГУП «ДальРАО».

Рельеф площадки пересеченный с перепадами отметок от 0 до 100 метров, круто обрывающийся к морю. Сопка сложена рухляками песчаника, альверолита, песчано-глинистыми заполнителями. Грунты пучинистые. Грунтовые воды струйчатого характера, уровни появления и установления грунтовых вод 2,5 - 4,5 м от поверхности земли. Сейсмичность района до 6 баллов по шкале Рихтера.

Основными факторами, формирующими климат прибрежного района Японского моря, являются муссонная циркуляция атмосферы. В период с октября-ноября по март происходит перенос холодного континентального воздуха с материка на океан (зимний муссон), устанавливается морозная малооблачная погода с небольшим количеством осадков и преобладанием северных и северо-западных ветров. Весной ветровой режим неустойчивый, температура воздуха сравнительно низкая, возможны длительные периоды без осадков. С мая (июня) по август (сентябрь) происходит перенос теплых и влажных масс воздуха с океана на материк (летний муссон). В первую половину летнего муссона вынос воздушных масс происходит с Охотского моря, что обуславливает прохладную пасмурную погоду с туманами, морозящим дождем. С середины июля по сентябрь воздушные массы поступают с востока и юга, устанавливается теплая погода с большим количеством осадков. Осенью (иногда до конца ноября) погода теплая, сухая и солнечная. В отдельных местах района возможно отклонение ветра от преобладающих направлений в зависимости от рельефа местности, так для района бухты Большой Камень преобладающими являются ветры северных направлений, летом ветры юго-западного направления.

В Таблице 1 представлены значения среднегодовой скорости (м/с) ветра по основным направлениям в районе расположения Филиала №1 «ДальРАО» и повторяемости ветра (%) этих направлений за год.

Таблица 1. «Роза ветров» в районе расположения Филиала №1 «ДальРАО».

Направление ветра от источника (румб)	Ю	ЮЗ	З	СЗ	С	СВ	В	ЮВ
Годовая повторяемость направления ветра, %	38,4	7,1	1,8	7,9	11,9	18,6	5,4	8,9

Показатель вытянутости розы ветров	3,08	0,57	0,145	0,63	0,085	0,15	0,43	0,71
Среднегодовая скорость ветра, м/с	7,3	3,2	2,4	3,8	4,6	4,1	3,4	5,4

Относительная влажность меняется в течение года в широких пределах. В декабре - январе отмечается наименьшее значение относительной влажности. С февраля - марта относительная влажность увеличивается, наиболее интенсивный рост ее отмечается с мая по июнь. Наибольшая средняя месячная влажность воздуха отмечается с июня по август. С сентября относительная влажность уменьшается. Средняя годовая влажность воздуха 71%, в июле - 89%, в январе - 61%.

Для района характерно большое количество осадков. Наибольшее количество осадков выпадает за теплый период, причем в первую половину лета преобладают обложные осадки, во вторую - ливневые, обусловленные прохождением тайфунов и юго-восточных циклонов. Эти ливни, как правило, влекут за собой паводки. Среднее годовое количество осадков составляет 770 мм, в теплый период выпадает 641 мм, в холодный (октябрь - март) - 129 мм. Число дней с осадками $\geq 0,1$ мм составляет 115.

Годовой ход облачности связан с сезонными перемещениями воздушных масс. Холодные и сухие зимние ветры обуславливают ясную погоду, среднемесячная облачность составляет 2-4 балла, преобладают облака верхнего и среднего ярусов. Летом средняя облачность возрастает до 7-9 баллов, одновременно возрастает повторяемость облаков нижнего яруса. Туманы часты и продолжительны. Наблюдаются обычно при южных и юго-восточных ветрах. То есть, наибольшая повторяемость туманов в июне-июле достигает на побережье 10—22% в месяц. В защищенных бухтах повторяемость туманов существенно меньше.

Ниже приводятся краткие описания объектов, выбранных в качестве наиболее радиационно-опасных. Все объекты находятся на территории технической площадки «бухта Сысоева».

Сооружение №5. Год постройки 1961. Хранилище бассейнового типа с размещением ОТВС в чехлах предназначалось для приема, хранения и отправки на переработку ОТВС АПЛ I и II поколений. Из-за снижения уровня воды в правом бассейне хранилища, выявленного в 1985 г., дальнейшая его эксплуатация была запрещена. В 1986-1987 гг. были проведены работы по выгрузке чехлов ОТВС и по очистке воды хранилища. В настоящее время эти бассейны осушены на 95%. На их дне имеется слой илистых радиоактивных отложений. Здание находится в аварийном состоянии. Уровни радиоактивного загрязнения поверхностей в транспортном зале хранилища (2-й этаж) в ряде мест достигают 30000 бета-частиц/см²·мин, величина МЭД - 3,5 Р/ч. Общая активность радионуклидов, сосредоточенных в здании, оценивается [1] в $2 \cdot 10^{12}$ Бк.

Сооружение 30, построенное на фундаменте для второй очереди здания 5, предназначено для «сухого» хранения ОТВС. Хранилище выполнено в виде бетонного блока с ячейками из стальных труб длиной 4 м, расположенных вертикально с шагом 0,45×0,40 м. Емкость хранилища 1368 чехлов, хранилище загружено на 90 %. Каждая ячейка содержит чехол, содержащий 7 ОТВС. Толщина съемных защитных бетонных плит, закрывающих ячейки с ОТВС – 0,5 м. Сооружение имеет высоту 6-8 м, обваловано грунтом до высоты примерно 3 м от уровня земли, закрывается съемными бетонными плитами толщиной 0,5 м. По данным [1] активность, сосредоточенная в хранилище, оценивается в 133 ПБк.

Сооружение № 31, построенное в 1987 г. по проекту 49 ЦПИ, предназначалось для хранения средних и низкоактивных ТРО, однако используется для хранения высокоактивных ТРО. Сооружение представляет собой железобетонный блок, заглубленный в грунт, разделенный на ячейки, секции и отсеки. Проектная емкость 2500 м³. В настоящее время сооружение заполнено на 42 %. В составе хранящихся ТРО присутствуют ловушки фильтров активности 1-го и 3-го контуров ЯЭУ, сборки 02ВМ-А, ОК-350, комплекты СУЗ, сборка 03ОК-350, парогенераторы, ЦНПК, контрольные ИИИ, крышки реакторов и др. В блоке № 1 секции А хранятся фрагменты каналов ОТВС. Суммарная активность хранящихся ТРО оценивается в 20 ПБк.

2.2. БТБ в бухте Горбушечья – Филиал №2 ФГУП «ДальРАО»

База находится на полуострове Камчатка в бухте Горбушечья Авачинского залива. В связи с высокой сейсмоопасностью района (до 9 баллов) состав зданий и сооружений значительно сокращен по сравнению с другими БТБ. Площадь территории составляет 0,06 км². Карта окрестностей базы представлена на Рис. 2.

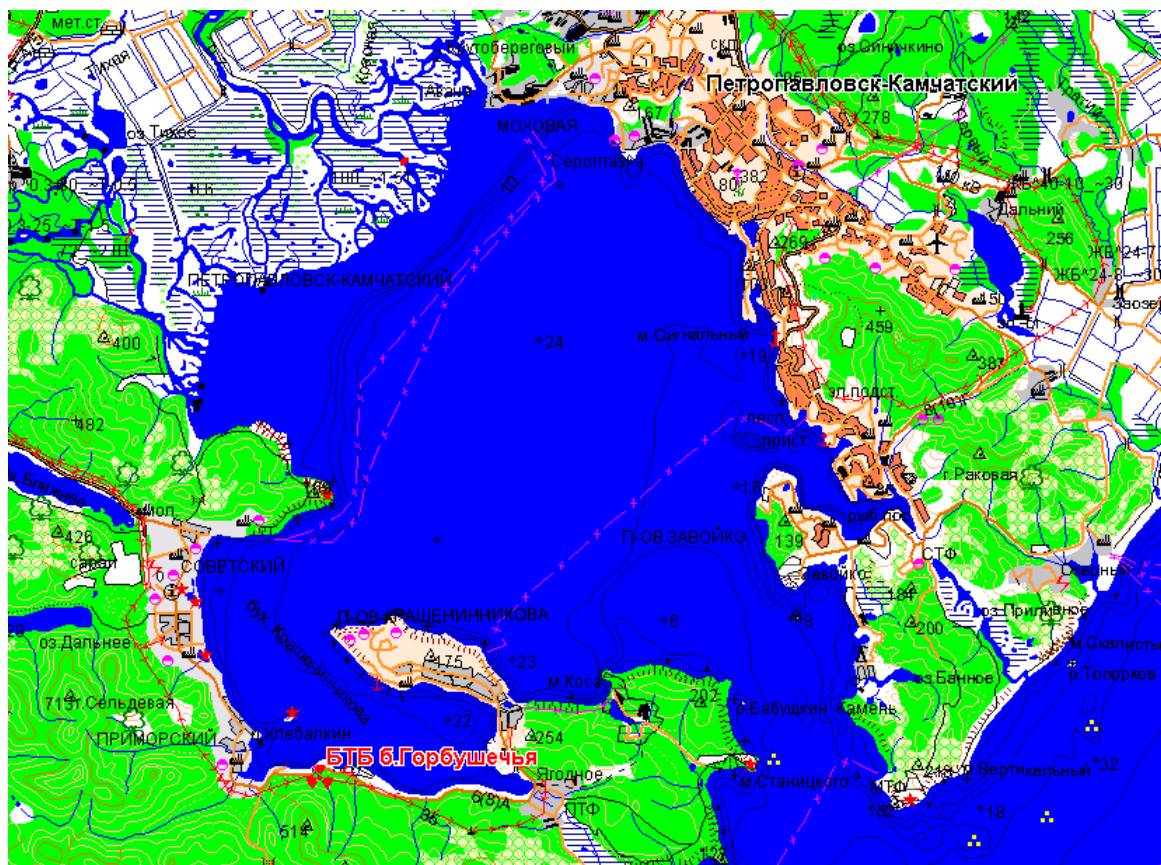


Рис. 2. Карта окрестностей филиала №2 ФГУП «ДальРАО».

Рельеф местности - расчлененная сопка с сетью мелких оврагов и ручьев сезонного характера. Почвенный слой имеет толщину 20-30 см на крупноблочных грунтах. Грунтовые воды на глубине до 3 метров, верховодка во время таяния снегов - на глубине до 0,5 м. Площадка застроена 1-2 этажными зданиями и сооружениями промышленного типа специального и обслуживающего назначения.

В состав базы входят три хранилища ТРО, предназначенных для длительного хранения ТРО средней и высокой удельной активности. Хранилища загружены оборудованием ППУ, контейнерами с ионообменными смолами, контрольными источниками и др. Суммарная активность ТРО составляет 5 ТБк. В качестве потенциальных источников выброса выбраны два хранилища.

Хранилище ТРО - сооружение №3, построено по проекту УНР г.Петропавловска-Камчатского в 1963г. Проектная емкость 600 м³. Размеры хранилища составляют 18х24 м. Предназначалось для временного хранения высоко- и средне- активных ТРО. Представляет собой заглубленный на 2,4 метра блок со стенами из железобетонных блоков, перекрытый железобетонными плитами. Подъездные пути отсутствуют. Полностью загружено и прекращена эксплуатация в 1975 году. Консервация сооружения произведена в 1993-94 гг. по проекту ВНИПИЭТ "Консервация "старого" могильника". Проект не отвечает действующим нормам и правилам и нуждается в доработке. Точные данные о видах упаковки и составе загруженных ТРО отсутствуют. Имеется не очень достоверная оценка общей активности загруженных ТРО - $6,3 \cdot 10^{11}$ Бк.

Примерный состав ТРО:

- сорбенты фильтров активности I, III контуров ЯЭУ АПЛ;
- стержни СУЗ;
- ГЦН ЯЭУ АПЛ;
- кубовые контейнеры с РАО - 222 шт.;
- ИИИ;
- перегрузочное оборудование.

Хранилище ТРО – сооружение №16. Проектная емкость 1700 м³. Размеры хранилища 11,5х48 м. Построено по проекту 23 ГМПИ в 1974г. Проектные решения, касающиеся кровли, не в полной мере учитывали повышенную сейсмичность региона, что привело к нарушению целостности ее гидроизоляции и проникновению атмосферных осадков внутрь. Объект заглублен на 5 метров, выполнен из сборного железобетона с частичным обвалованием грунтом. Предназначено для временного хранения высоко- и средне-активных ТРО. Загружено около 306,4 м³ ТРО (40% вместимости) следующего состава:

оборудование ППУ;

ловушки с сорбентами фильтров активности 1 и 3 контуров ЯЭУ АПЛ;

контрольные источники;

5 источников типа “Бета-М”;

перегрузочное оборудование;

СИЗ, спецодежда, ветошь.

3. Формирование выбросов при падениях летательных аппаратов

Рассматриваются возможные механизмы формирования выбросов, вызванные взрывом попавшей на объект ракеты и пожаром при падении самолета.

3.1. Попадание ракеты

В качестве одного из исходных событий рассмотрим попадание на площадку БТБ тактической противокорабельной ракеты, потерявшей управление или случайно выпущенной при проведении учений ВМФ. В Таблице 2. приведены характеристики тактических противокорабельных ракет воздушного базирования (www.airwar.ru в сети Internet), рассматриваемых в качестве обычных боеприпасов, способных вызвать взрыв на площадке.

Таблица 2. Некоторые характеристики тактических противокорабельных ракет.

Тип боеприпаса	Вес боевой части, кг	Характеристика
ЗМ51 АЛЬФА	200	Тактическая противокорабельная ракета
X15С	150-250	Противокорабельная ракета
X31А	90-96	Тактическая противокорабельная ракета
X41 (ЗМ80Е) МОСКИТ	150 (масса взрывчатого вещества)	Тактическая противокорабельная ракета
X45	500	Крылатая противокорабельная ракета
X61 ЯХОНТ	200-250	Тактическая противокорабельная ракета

В дальнейшем в качестве обобщенного гипотетического боеприпаса будем рассматривать ракету, взрыв боевой части которой эквивалентен 200 кг тротила.

3.1.1. Разрушения, вызванные попаданием ракеты

При взрыве любого изделия на земле параметры ударной волны рассчитываются по эмпирическим формулам [2]:

$$\Delta P_m = 0,95/R^0 + 3,9/(R^0)^2 + 13,0/(R^0)^3 \quad (1)$$

где ΔP_m – приращение максимального давления (кГ/см^2), $R^0 = R/q^{1/3}$, R – расстояние от точки взрыва (м), q – тротильный эквивалент (200 кг). По материалам [3-4], при избыточном давлении > 100 кПа ($1,02$ кГ/см^2) происходит полное разрушение и обрушение всех элементов зданий и сооружений, частичное – в диапазоне давлений 70-100 кПа ($0,71 - 1,02$ кГ/см^2). Решая уравнение (1) для указанных значений ΔP_m и $q = 200$ кг можно получить, что зона полного разрушения соответствует радиусу $R \approx 20$ м, а сильного – радиусу $R \approx 23$ м.

3.1.2. Образование взрывной воронки

Одной из основных задач при определении функции источника выброса, вызванного взрывом, является оценка образовавшейся массы мелкодисперсных частиц, способных к подъему на достаточно большие высоты и, следовательно, определяющих загрязнение на удалении от источника. В качестве интегральной оценки объема диспергированного при взрыве материала примем объем воронки, образующейся при взрыве рассматриваемого гипотетического боеприпаса.

По данным, приведенным в [5], для взрыва химического вещества с тротильным эквивалентом Q [кг] величина $\ln(D/Q^{1/3})$, где D [м] – глубина воронки, является функцией параметра $W/Q^{1/3}$ (W – глубина размещения заряда). Для поверхностных взрывов ($W = 0$) $\ln(D/Q^{1/3}) \sim 2,5$ (при указанных выше размерностях величин Q и D), откуда ожидаемая глубина воронки при взрыве химического вещества с тротильным эквивалентом 200 кг составит примерно 7 м. Связь между глубиной воронки и ее диаметром описывается степенной зависимостью, приведенной в [6]. По данным этой работы глубине воронки 7 м соответствует диаметр равный примерно 30 м.

3.1.3. Формирование выброса

Оценка ожидаемых последствий от случайного попадания противокорабельной ракеты на объекты хранения ОЯТ и ТРО ВМФ проведена на основе экспериментальных данных, полученных при ликвидации ракет средней и малой дальности на полигонах Капустин Яр и Сарьозек в период 1987-1991 в соответствии с Договором между СССР и США [7], где в натуральных условиях изучались возникновение, трансформация, подъем в атмосфере и рассеивание загрязняющих примесей [8].

При подрывах после ослепительной вспышки наблюдалось формирование сложных выбросов в виде разлетающихся твердых продуктов взрыва (частиц и кусков раздробленного грунта и твердого топлива, а также фрагментов разрушенного изделия), высокотемпературного пылегазового выброса детонировавшей части зарядов и аэрозольного приземного выброса, возникающего от смыкания дымовых треков частиц раздробленного ракетного топлива, догорающих в полете и на поверхности земли.

В первые моменты после взрыва раздробленный грунт из взрывной полости выносится в область детонации и поднимается над поверхностью в виде плотного газогрунтового султана. По мере расширения высокотемпературного вещества султана и вовлечения в него окружающего воздуха за время порядка 1 с формируется первичный взрывной выброс, размеры которого достигают в поперечнике десятков метров. Этот размер является начальным радиусом сферического перегретого газового клуба, покидающего первичный выброс под действием сил плавучести.

Одновременно с отрывом сферического клуба происходит вылет по инерции за пределы первичного выброса твердой его фазы – частиц и кусков несгоревшего топлива, грунта и фрагментов конструкции изделия. Дымовые треки горящих кусков и частиц топлива, сливаясь, образуют синевато-белесый дымовой выброс, поперечник которого зависит от массы взрываемой ракеты.

Одновременно с разлетом и догоранием ракетного топлива происходит всплытие пылегазового клуба. При времени $t > 30$ с после взрыва наблюдается четкая дифференциация выброса на верхний пылегазовый и нижний дымовой. К моменту времени $t \sim 1$ мин ветровой поток вытягивает и деформирует оба выброса. Соединяющая их «ножка», состоящая в основном из твердофазных продуктов взрыва и частиц грунта разной дисперсности, практически не изменяет толщины.

Распространение выброса, вызванного взрывом, в значительной степени определяется дисперсностью поднятых в воздух частиц. Исходные данные по данному вопросу практически отсутствуют, и в лучшем случае можно говорить о порядковых оценках. Из анализа данных, приведенных в [8], и опыта авторов по анализу чернобыльских выпадений, можно предполагать, что из всего объема поднятого взрывом материала, порядка 10% имеют размеры десятки-сотни микрон и скорость оседания несколько сантиметров в секунду, и не более 1% - размеры единицы – десятые доли микрона со скоростью оседания $10^{-3} - 10^{-1}$ сантиметров в секунду.

Высота конвективного подъема горячего облака от взрыва, эквивалентного 200 кг ТНТ оценивалась с помощью программного средства [9], в котором реализована модель турбулентного движения плавучего облака. В зависимости от погодных условий высота подъема может меняться в пределах 350-500 м.

В последующих расчетах предполагается, что облако выброса делится на три части:

- всплывающее высокотемпературное пылегазовое облако, высота подъема которого составляет 400 м. Данное облако содержит мелкодисперсные (размерами доли – единицы микрон) частицы, способные распространяться на расстояния десятки километров;
- газо – грунтовый султан, содержащий большую часть выброшенного из воронки взрыва материала и формирующий приземное облако. Данное облако содержит в основном крупнодисперсные фрагменты выброса, разлетающиеся от эпицентра на расстояния порядка 150 м. Приземное облако формирует загрязнение площадки, и при оценках распространения выброса на значительные расстояния не учитывается;
- дымовой столб («ножка»), соединяющий всплывающее высокотемпературное облако с землей.

Во всплывающем облаке по нашим оценкам будет сосредоточено около 1% общей массы (активности) выброса, связанной с мелкодисперсными частицами. Примем, что эффективная скорость осаждения этих частиц составляет 0,05 см/с.

Примерно 10% выброшенной массы (активности) будут связаны с частицами, находящимися в дымовом столбе. Размеры этих частиц составляют десятки – сотни микрон. Примем, что эффективное значение скорости их осаждения составляет 2,5 см/с.

3.2. Падение самолета

В качестве исходного события в данном случае будем рассматривать падение палубного истребителя типа МИГ-29К или СУ-27К. Корпус самолета является относительно «мягкой» конструкцией, двигатели, которые можно рассматривать в качестве пробивающих элементов, расположены сзади. Можно ожидать, что при падении за счет деформации корпуса самолета произойдет распределение силы воздействия во времени, и разрушения будут не слишком велики. В качестве основного поражающего фактора при падении самолета будем рассматривать пожар, возникающий при сгорании топлива, оставшегося на борту в момент падения. Начальная масса топлива для истребителя типа МИГ-29 составляет 4300 кг, для СУ-27 – 9400 кг. Места взлета самолетов достаточно удалены от площадок БТБ, и падение самолета с полными баками исключено. Для порядковых оценок будем полагать, что масса горючего, оставшегося на борту в момент падения, составляет 1000 кг. Как далее будет показано, результат слабо меняется при изменении массы топлива от одной до нескольких тонн.

На борту истребителя при падении могут находиться ОБП, максимальную массу боевой части из которых имеют тактические ракеты типа воздух-море или воздух-земля. В обоих случаях для порядковых оценок можно предполагать, что детонация зарядов ракет будет эквивалентна взрыву примерно 100 кг ТНТ. Однако следует отметить, что одновременное возникновение взрыва и пожара маловероятно – при взрыве, скорее всего, произойдет мгновенное распыление горючего, которое просто не успеет сгореть. При взрыве ракеты на борту упавшего самолета функцию источника при порядковых оценках можно

брать ту же, что и в предыдущем случае – размеры воронки мало меняются при изменении массы заряда от 200 до 100 кг ТНТ.

3.2.1. Механизм возникновения и протекания пожара

Образование зоны пожара начинается с детонации (взрыва) небольшого количества топлива, сопровождающейся выделением соответствующей энергии. В результате расширения продуктов детонации давление в течение нескольких миллисекунд понижается. Однако топливо продолжает поступать в зону детонации и сгорать там при давлении окружающей среды или близком к нему. Вначале зона пожара имеет полусферическую форму, но, по мере того как на горячие газы начинают действовать выталкивающие силы, зона пожара начинает подниматься и ее форма приближается к сферической. После того, как основная часть топлива прореагирует, скорость радиального расширения уменьшается, основную роль начинают играть выталкивающие силы, причем они вызывают подъем области горения. После этого под воздействием конвективных потоков и сил сопротивления зона пожара может принять грибовидную форму.

Экспериментальные данные для зон пожаров, связанных с падением летательных аппаратов ограничены. В приводимых ниже оценках сделаны следующие предположения [8]:

- скорость поступления топлива в зону пожара постоянна;
- воздух не поступает в зону пожара ни во время протекания реакции горения, ни в последующий период (наихудший тепловой режим в зоне пожара);
- все топливо вступает в химическую реакцию (вообще говоря, некоторое количество топлива может быть выброшено при начальной детонации или скопиться в каком-либо месте в жидком виде);
- внутри пожара существует высокий уровень турбулентности, и зона пожара является изотермической и гомогенной, а ее форма остается сферической;
- зона пожара излучает как черное тело;
- прекращение горения топлива и отрыв зоны пожара от поверхности земли происходят одновременно.

Принимая значение энтальпии для авиационного топлива порядка -200 ккал/г, в работе [8] получено, что максимальная адиабатическая температура продуктов сгорания (при нулевой концентрации воздуха) составляет примерно 3000 К.

Баланс сил, действующих на зону пожара, включает в себя выталкивающую силу F_B и силу сопротивления F_R . Для произвольного объема

$$F_B = W \cdot a, \quad a = f(g, \rho, \Delta\rho, c) \quad (2)$$

где W – масса зоны пожара (равная в наших предположениях массе топлива), a – ускорение, $g = 9,81$ м/с² – ускорение силы тяжести, ρ – плотность продуктов горения, $\Delta\rho$ – разность плотностей газообразных продуктов сгорания и окружающего воздуха, c – эффективный коэффициент массы. Внутри зоны пожара температура должна быть довольно высока, поэтому $\Delta\rho \sim \rho$, и $a \sim g/c$.

Предполагается, что зона горения топлива при аварии представляет собой сферу, касательную к поверхности земли и расширяющуюся в радиальном направлении со скоростью U . Тогда по отношению к окружающему воздуху вершина этой зоны имеет скорость $2U$, а скорость ее нижней части равна нулю. Центр зоны движется вверх со скоростью U .

Если r – мгновенный радиус зоны пожара, а t – время, то с помощью метода [10] можно показать, что сила сопротивления равна

$$F_R = \frac{2}{3} \pi r^3 \rho \left[\frac{2}{r} \cdot \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 - \frac{d^2 r}{dt^2} \right] \quad (3)$$

Приравнивая эту силу выталкивающей силе $F_B = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$, для зависимости мгновенного радиуса зоны пожара от времени можно получить уравнение

$$\frac{d^2 r}{dt^2} - \frac{2}{r} \cdot \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 + 2g = 0 \quad (4)$$

Его решением является зависимость $r = \frac{g}{3} t^2$ и, следовательно, $a = (2/3)g$. Принимая, что для сферической зоны пожара в момент отрыва от поверхности земли средняя плотность газов равна $0,0881 \text{ кг/м}^3$ [8], то радиус r_B в момент прекращения горения 1000 кг топлива составит

$$r_B = \sqrt[3]{\frac{3W}{4\pi\rho}} \sim 14 \text{ м} \quad (5)$$

Отметим, что ускорение подъема огненного облака не зависит от массы прореагировавшего горючего, а радиус облака зависит от массы топлива как $W^{1/3}$. Таким образом, результат достаточно слабо чувствителен к неопределенности исходных данных о количестве топлива в самолете на момент падения.

Время t_B подъема зоны пожара на высоту H_B в момент прекращения горения можно оценить из соотношения $H = at^2/2$, $H_B = r_B$, и, следовательно, $t_B = \sqrt{\frac{3r_B}{g}} \approx 2 \text{ с}$.

Можно показать [8], что отрыв зоны пожара от земли будет всегда происходить при горении массы топлива свыше $\sim 90 \text{ кг}$. Данное условие соответствует равенству тепловых потерь зоны пожара и количеству тепла, высвобождающемуся при горении.

Начальный тепловой поток из зоны пожара при температуре 3000 К составляет $\sim 1000 \text{ ккал/м}^2\text{с}$ [8]. Эта величина уменьшается при снижении температуры, причем для грубых оценок ее снижение можно полагать линейным, и далее среднее значение теплового потока примем $\sim 500 \text{ ккал/м}^2\text{с}$.

Вскоре после окончания подвода топлива зона пожара отрывается от земли и поднимается вверх. Однако, газовый столб, соединяющий зону пожара с землей, может поглотить объект, вследствие чего воздействующий на него тепловой поток будет превышать аналогичный поток от остаточного пламени [11].

С другой стороны, твердые частицы могут быть захвачены восходящим потоком и подняты над землей. Считается, что оба эти факта приводят к одинаковым тепловым воздействиям.

Теплопередача от поднятой зоны пожара прекращается в момент времени $t = 1,5t_B$. Последнее обстоятельство является экспериментальным фактом и соответствует моменту отрыва газового столба от «всплывающей» зоны пожара.

Таким образом, для горения 1000 л авиационного топлива за время $1,5t_B = 3 \text{ с}$ в зоне радиусом около 14 м теплопередача на единицу поверхности составит примерно

$$500 \text{ ккал/м}^2\text{с} \cdot 3 \text{ с} = 1500 \text{ ккал} \sim 6,3 \text{ МДж/м}^2$$

По материалам [12], данная теплопередача за несколько секунд может вызвать повышение температуры окружающих материалов до примерно 200^0 С . Возникновение последующих пожаров будет определяться температурой вспышки окружающих материалов.

3.2.2. Подъем поверхностного загрязнения при пожаре

Таким образом, в рассматриваемой модели особенностью формирования выброса можно считать подъем поверхностного загрязнения с площади, определяемой радиусом пожара (примерно 14 м). Далее в оценках принимается, что 20% активности радионуклидов, формирующих поверхностное загрязнение в зоне пожара, могут быть вовлечены во всплывающий огненный шар. Предположение о 20% поверхностного загрязнения, вовлекаемых в дымовой шлейф, является достаточно произвольным, и, при более тщательном рассмотрении может потребовать более аккуратного обоснования. Данное предположение справедливо по порядку величины и достаточно консервативно.

Рассмотрим, на какую высоту может быть поднято радиоактивное облако при предполагаемом пожаре. Ранее было показано, что в момент прекращения поступления горючего в зону пожара облако имеет радиус 14 м и скорость всплывания около 13 м/с (оно «разгоняется» за 2 сек с ускорением $(2/3)g$). Температуру газовой смеси в облаке можно оценить из численных расчетов, проведенных в [8], согласно которым мощность теплового потока из облака в данный момент для рассматриваемого случая составляет примерно $250 \text{ ккал}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$. Данный тепловой поток определяется излучением и равен $\sigma\cdot\varepsilon\cdot T^4$, где σ – постоянная Стефана-Больцмана ($\sim 5,67\cdot 10^{-8} \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{К}^{-4}$), ε – степень черноты зоны пожара (~ 1). Отсюда температура облака в момент прекращения горения составит примерно $2070 \text{ }^\circ\text{К}$.

Дальнейшее движение облака будет определяться его движением по инерции за счет начальной скорости и силой плавучести. Высоту подъема H можно оценить по формуле [13]:

$$H = \frac{1,5wR}{u} \left[2,5 + \frac{3,3gR\Delta T}{Tu^3} \right] \quad (6)$$

где u – скорость ветра, R – радиус устья трубы (в нашем случае – начальный радиус облака), w – начальная скорость подъема, ΔT – перегрев облака относительно окружающего воздуха, имеющего температуру T . Для набора значений

- $u = 5 \text{ м/с}$;
- $w = 13 \text{ м/с}$;
- $R = 14 \text{ м}$;
- $\Delta T = 1770 \text{ К}$;
- $T = 300 \text{ К}$

ожидаемое значение высоты подъема составит примерно 1300 м.

Таким образом, для оценок радиационных последствий на население, вызванных всплывающим «огненным шаром» при пожаре, можно предполагать рассеяние «точечного» выброса с высоты порядка 1 км. Данное значение высоты подъема облака представляется достаточно большим, чтобы обеспечить рассеяние активности до безопасных значений в месте ее выпадения.

Большую опасность может представлять рассеяние радионуклидов с меньшей высоты, обусловленное их присутствием в дымовом столбе, формирующимся под всплывающим облаком. Как распределится поднятая с поверхности активность между огненным шаром и дымовым столбом – зависит от массы обстоятельств, предсказать которые заранее невозможно. Для грубых оценок предположим, что в дымовом столбе останется половина поднятой активности. Как отмечалось выше, формирование и отрыв дымового столба произойдут после $1,5t_b \sim 3$ с после начала пожара. Предполагая, что после сгорания горючего в облаке его скорость (13 м/с) в течение первой секунды будет постоянной, можно оценить высоту дымового столба величиной $14 \text{ м} + 13 \text{ м/с} \cdot 1 \text{ с} \sim 30 \text{ м}$.

Следует подчеркнуть, что в оценках рассматривались последствия, наиболее опасные для населения, т.е. предполагался выброс на максимальную высоту и, следовательно, его максимальное распространение за пределы базы. Вполне возможно, что топливо не загорится как целое, а перед вспышкой успеет рассредоточиться по поверхности или не будет целиком вовлечено во всплывающее облако. В данном случае, пожар будет носить поверхностный характер, и высота подъема дымового шлейфа будет существенно меньше. За счет меньшего рассеяния поднятой с поверхности радиоактивной примеси увеличатся дозовые нагрузки на персонал, находящийся на площадке. Однако можно предполагать, что в послед-

нем случае абсолютное значение поднятой с поверхности активности будет существенно меньше, а пожар можно будет относительно быстро потушить.

4. Вероятности исходных событий

На практике различают три категории летательных аппаратов:

- гражданская авиация, включающая коммерческие полеты для пассажиров и грузов, а также почтовые самолеты. К этой категории относятся все гражданские самолеты, масса которых превышает примерно 6 тонн;
- военная авиация;
- легкая авиация (самолеты массой меньше 6 т). К данной категории относятся частные и спортивные самолеты, число которых на территории Российской Федерации незначительно по сравнению с числом самолетов первых двух категорий.

Для всех категорий вероятность падений наибольшая при посадке, меньшая при полете и самая малая при взлете. Для площадок, расположенных вне зон взлетных и посадочных полос, вероятность падения следует в грубом приближении разделить на три.

По данным [14], для территории Франции вероятности падения самолетов составляют:

- для гражданской авиации – порядка $2 \cdot 10^{-6}$ на полет и 10^{-12} м²·год⁻¹;
- для военной авиации – порядка 10^{-5} на полет и 10^{-11} м²·год⁻¹;
- для легкой авиации – порядка 10^{-10} на полет и 10^{-10} м²·год⁻¹.

Как далее будет показано, зона сильных разрушений при падении летательного аппарата или противокорабельной ракеты имеет радиус примерно 20 м. Переносимые данные из [14] на рассматриваемый случай, получим следующие оценки для вероятностей падения летательных аппаратов:

- для гражданской авиации – порядка 10^{-9} год⁻¹;
- для военной – порядка 10^{-8} год⁻¹.

Оценки являются довольно консервативными – в них не учитываются ни возможный запрет полетов над определенной местностью, ни возможность избежать падения на определенные места.

В работе [14] берется «среднемировая» вероятность падения летательного аппарата – 10^{-6} год⁻¹, которая рассматривается в качестве консервативной оценки для Дальневосточного региона.

Оценки вероятностей типичных морских и навигационных происшествий или техногенных катастроф приводятся в [15]. Учитывая, что результаты [15] приведены для 179 выведенных из боевого состава АПЛ, для интересующих нас случаев получим:

- среднегодовая частота тарана единичного объекта летательным аппаратом составляет примерно $2 \cdot 10^{-6}$ год⁻¹;
- среднегодовая частота поражения единичного объекта обычным боеприпасом составляет примерно $6 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹.

5. Функции источника при рассматриваемых исходных событиях

5.1. Функция источника для исходного события, связанного с падением самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в бухте Сысоева (сооружение №5, Филиал №1)

Будем предполагать, что сила удара самолета о стены здания достаточна для их разрушения. Будем также предполагать, что тепловое воздействие на загрязненные поверхности способно привести к вовлечению в высокотемпературный газовый столб примерно 10% активности депонированных радионуклидов (общая активность радионуклидов в составе поверхностного загрязнения сооружения №5 по материалам [1] оценивается в $2 \cdot 10^{12}$ Бк). Всплытие высокотемпературного облака будет, по-видимому, затруднено упавшими фрагментами разрушенных конструкций, и консервативно принимается, что все 10% поднятой активности будут вовлечены в дымовой столб высотой 30 м. Из результатов [1], где проводился анализ радионуклидного состава проб грунта, загрязненного протечками из сооружения №5, можно оценить, что активности радионуклидов ^{137}Cs , ^{90}Sr и ^{60}Co находятся в соотношениях 1000:11:18. Предположим, что соотношения активностей в поверхностном загрязнении сооружений №5 те же. Тогда, в наших предположениях, активности радионуклидов в выбросе составят для ^{137}Cs – $1,9 \cdot 10^{11}$ Бк, для ^{90}Sr – $2,1 \cdot 10^8$ Бк и для ^{60}Co – $3,4 \cdot 10^8$ Бк.

5.2. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 31 Филиала №1

По имеющемуся описанию отходов в хранилище можно предполагать, что основная часть активности связана с наведенной активностью внутриреакторных конструкций. При оценках распространения радионуклидов за пределы площадки БТБ наиболее важна активность, ассоциированная с мелкодисперсными частицами. Металлоконструкции в хранилище достаточно массивны, и едва ли следует ожидать их полного диспергирования при взрывном и/или огневом воздействии. Наиболее вероятным путем образования мелкодисперсных частиц представляется диспергирование/оплавление поверхностного слоя металлоконструкций. Для дальнейших оценок примем, что при взрывном/огневом воздействии на активированные внутриреакторные конструкции радионуклидный состав выброса будет соответствовать радионуклидному составу поверхностных отложений первого контура.

Данный выбор обусловлен попыткой как-то учесть наличие в хранилище других видов ТРО кроме реакторных металлоконструкций и, частично, наличие фрагментов каналов дефектных ОТВС.

Отдельную проблему представляют собой стержни СУЗ, содержащие европий. В результате захвата нейтронов ядрами изотопов ^{151}Eu и ^{153}Eu , содержащихся в стержнях, образуются радионуклиды ^{152}Eu ($T_{1/2} = 13,2$ года) и ^{154}Eu ($T_{1/2} = 8,5$ лет). Мощность дозы, измеренная вплотную к стержням достигает 1000 Р/час. Величины активности европий содержащих стержней СУЗ для одного реактора АПЛ с десятилетней выдержкой по порядку величины составляют $\sim 4 \cdot 10^{15}$ Бк по ^{152}Eu и $\sim 1,5 \cdot 10^{15}$ Бк по ^{154}Eu [16]. Если предположить, что в хранилище сооружения № 31 содержатся стержни СУЗ от нескольких реакторов АПЛ (что весьма вероятно), то получается, что с ними связана большая часть заявленной для хранилища активности ($\sim 2 \cdot 10^{16}$ Бк).

Таким образом, учесть сколько-нибудь корректно радионуклидный состав хранилища на основе имеющихся данных невозможно. Методом чисто экспертной оценки будем полагать, что с активностью европия в стержнях СУЗ связано 10% общей активности, а остальная активность распределена между радионуклидами, обуславливающими активность поверхностных отложений первого контура реактора.

Максимальные активности поверхностных отложений для реактора 3-х летней выдержки по материалам [17] составляют (Таблица 3):

Таблица 3. Радиоактивности нуклидов на внутренних поверхностях первого контура А_{с,в} Бк.

Изотоп	А _{с,в} Бк
⁵⁵ Fe	2·10 ¹¹
⁶⁰ Co	4·10 ¹¹
⁶³ Ni	8·10 ¹⁰
⁹⁰ Sr	6·10 ¹⁰
¹³⁷ Cs	2·10 ¹¹
Всего	9,4·10¹¹ (~ 25 Ки)

Отсюда доли активности нуклидов в компоненте выброса, обусловленной активированными металлоконструкциями, будем полагать (в соответствие с Таблицей 3) ⁵⁵Fe – 21%, ⁶⁰Co – 43%, ⁶³Ni – 9%, ⁹⁰Sr – 6%, ¹³⁷Cs – 21%.

Окончательно, в качестве исходных данных для активностей радионуклидов в могильнике будем предполагать (Таблица 4):

Таблица 4. Принятый в расчетах радионуклидный состав ТРО в сооружении № 31.

Изотоп	Активность ТРО, Бк
⁵⁵ Fe	4,2·10 ¹⁵
⁶⁰ Co	8,5·10 ¹⁵
⁶³ Ni	1,8·10 ¹⁵
⁹⁰ Sr	1,2·10 ¹⁵
¹³⁷ Cs	4,2·10 ¹⁵
¹⁵² Eu	1,6·10 ¹⁵
¹⁵⁴ Eu	6,0·10 ¹⁴
Всего	2,2·10¹⁶

Взрыв ракеты с образованием воронки глубиной 7 м и диаметром 30 м приведет к выбросу около 1500 м³ ТРО, что (с учетом 42%-го заполнения) превышает объем хранилища. Далее будем предполагать выброс при взрыве всего содержимого хранилища ТРО. В выбросе 1% активности будет связан с мелко-дисперсной фракцией частиц со скоростью осаждения 0,05 см/с, которая поднимется вместе с высокотемпературным пылегазовым облаком на высоту 400 м. 10% активности в выбросе будут ассоциированы с более крупными частицами (скорость осаждения 2,5 см/с), которые будут рассеиваться из вертикального дымового столба, соединяющего высокотемпературное пылегазовое облако с землей.

Таким образом, при оценках распространения выброса в расчетах рассматривается суперпозиция двух источников.

Первый источник – точечный, высота 400 м, скорость осаждения частиц – 0,05 см/с, радионуклидный состав (Таблица 5):

Таблица 5. Радионуклидный состав высокотемпературного газового облака при выбросе из хранилища ТРО.

Изотоп	Активность, Бк
⁵⁵ Fe	4,2E+13
⁶⁰ Co	8,5E+13
⁶³ Ni	1,8E+13
⁹⁰ Sr	1,2E+13
¹³⁷ Cs	4,2E+13
¹⁵² Eu	1,6E+13
¹⁵⁴ Eu	6,0E+12
Всего	2,2E14

Второй источник – линейный, высота от поверхности земли – 400 м, скорость осаждения частиц – 2,5 см/с, радионуклидный состав (Таблица 6):

Таблица 6. Радионуклидный состав дымового столба при выбросе из хранилища ТРО.

Изотоп	Активность, Бк
⁵⁵ Fe	4,2E+14
⁶⁰ Co	8,5E+14
⁶³ Ni	1,8E+14
⁹⁰ Sr	1,2E+14
¹³⁷ Cs	4,2E+14
¹⁵² Eu	1,6E+14
¹⁵⁴ Eu	6,0E+13
Всего	2,2E15

5.3. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ОТВС сооружения № 30 Филиала №1

При оценках радионуклидного состава ОТВС в БСХ предполагалось, что все они извлечены из гипотетической АПЛ 2-го поколения с энерговыработкой 400000 МВт*час. Время, прошедшее после останова реактора до момента разрушения ОТВС предполагалось равным 20 лет. Радионуклидный состав гипотетической ОТВС приведен в Таблице 7. При оценках использовались исходные данные из работы [17].

Таблица 7. Активность ОТВС гипотетической АПЛ 2-го поколения с энерговыработкой 400000 МВт*час на момент останова реактора (t=0) и через 20 лет выдержки (t=20) по наиболее радиологически значимым нуклидам.

Нуклид	T _{1/2} , лет	Активность ОТВС (t=0), Бк	Активность ОТВС (t=20), Бк
³ H	12,33	5,1+10	1,7+10
⁸⁵ Kr	10,71	1,2+12	3,3+11
⁹⁰ Sr	28,6	7,5+12	4,6+12
⁹⁹ Tc	2,13+5	1,2+9	1,2+9
¹²⁹ I	1,57+7	1,9+6	1,9+6
¹³⁴ Cs	2,062	1,8+12	2,2+9
¹³⁵ Cs	2,3+6	5,8+7	5,8+7
¹³⁷ Cs	30,17	8,2+12	5,2+12
¹⁴⁷ Pm	2,62	2,4+13	1,2+11
¹⁵¹ Sm	90	1,8+11	1,5+11
¹⁵² Eu	13,33	1,6+9	5,7+8
¹⁵⁴ Eu	8,8	3,0+10	6,2+9
¹⁵⁵ Eu	4,96	2,0+11	1,2+10
²³⁸ Pu	87,7	1,3+9	1,1+9
²³⁹ Pu	24119	1,3+10	1,3+10
²⁴⁰ Pu	6550	1,6+9	1,6+9
²⁴¹ Pu	14,35	1,0+11	3,8+10
²⁴¹ Am	432,2	2,0+9	2,7+9
⁶⁰ Co	5,27	1,0+13	7,2+11
⁶³ Ni	96,0	2,0+12	1,7+12

Число ОТВС, которые будут разрушены при попадании ракеты в хранилище, будет зависеть от ряда трудно поддающихся учету обстоятельств. Поскольку речь идет о порядковых оценках, будем считать,

что с учетом наличия мощных защитных плит в результате взрыва будут полностью разрушены и выброшены за пределы хранилища не более 10% общего числа ОТВС в хранилище, или 1368-0,9·7·0,1 ~ 860 ОТВС. Учитывая, что большая часть ОТВС в хранилище выгружена из «старых» АПЛ, для оценочных расчетов будем использовать активности радионуклидов из последнего столбца Таблицы 7 (ОТВС 20 летней выдержки).

Применяя тот же подход, что в предыдущем параграфе – 1% выброшенной активности в высокотемпературном всплывающем облаке на высоте 400 м и 10% в дымовом столбе, получим следующий комбинированный источник.

Первый источник – точечный, высота 400 м, скорость осаждения частиц – 0,05 см/с, радионуклидный состав (Таблица 8):

Таблица 8. Радионуклидный состав высокотемпературного газового облака при выбросе из сухого хранилища ОТВС.

Нуклид	Активность, Бк
³ H	1,46E+11
⁸⁵ Kr	2,84E+12
⁹⁰ Sr	3,96E+13
⁹⁹ Tc	1,03E+10
¹²⁹ I	1,63E+07
¹³⁴ Cs	1,89E+10
¹³⁵ Cs	4,99E+08
¹³⁷ Cs	4,47E+13
¹⁴⁷ Pm	1,03E+12
¹⁵¹ Sm	1,29E+12
¹⁵² Eu	4,90E+09
¹⁵⁴ Eu	5,33E+10
¹⁵⁵ Eu	1,03E+11
²³⁸ Pu	9,46E+09
²³⁹ Pu	1,12E+11
²⁴⁰ Pu	1,38E+10
²⁴¹ Pu	3,27E+11
²⁴¹ Am	2,32E+10
⁶⁰ Co	6,19E+12
⁶³ Ni	1,46E+13
Всего	1,1E14

Второй источник – линейный, высота от поверхности земли – 400 м, скорость осаждения частиц – 2,5 см/с, радионуклидный состав (Таблица 9):

Таблица 9. Радионуклидный состав дымового столба при выбросе из сухого хранилища ОТВС.

Нуклид	Активность, Бк
³ H	1,46E+12
⁸⁵ Kr	2,84E+13
⁹⁰ Sr	3,96E+14
⁹⁹ Tc	1,03E+11
¹²⁹ I	1,63E+08
¹³⁴ Cs	1,89E+11
¹³⁵ Cs	4,99E+09
¹³⁷ Cs	4,47E+14
¹⁴⁷ Pm	1,03E+13
¹⁵¹ Sm	1,29E+13
¹⁵² Eu	4,90E+10
¹⁵⁴ Eu	5,33E+11

¹⁵⁵ Eu	1,03E+12
²³⁸ Pu	9,46E+10
²³⁹ Pu	1,12E+12
²⁴⁰ Pu	1,38E+11
²⁴¹ Pu	3,27E+12
²⁴¹ Am	2,32E+11
⁶⁰ Co	6,19E+13
⁶³ Ni	1,46E+14
Всего	1,1E15

5.4. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 3 Филиала №2

При отсутствии данных о радионуклидном составе ТРО методом экспертной оценки по аналогии с рассмотрением хранилища ТРО в б. Сысоева примем, что 10% общей активности связаны с активностью изотопов ^{152,154}Eu в стержнях СУЗ, а остальная активность распределена между радионуклидами в порциях, характерных для поверхностных отложений первого контура. На основании данных о времени эксплуатации хранилища примем среднее время выдержки радионуклидной композиции равным 30 лет.

На основании данных о радионуклидном составе отложений первого контура ЯЭУ [18] можно оценить, что через 30 лет вклады в суммарную активность поверхностных отложений распределятся между основными радионуклидами в следующих соотношениях: ⁶⁰Co – 5%, ⁹⁰Sr – 15%, ⁶³Ni – 31%, ¹³⁷Cs – 49%. Соотношение активностей изотопов ¹⁵²Eu/¹⁵⁴Eu в стержнях СУЗ через 30 лет выдержки составит по материалам [19] 8,1/1,5.

Отсюда ожидаемый радионуклидный состав ТРО в хранилище сооружения № 3 на сегодняшний день при объявленной активности $6,3 \cdot 10^{11}$ Бк будет следующим (Таблица 10):

Таблица 10. Ожидаемый состав ТРО в сооружении № 3 на 2002 г.

Изотоп	Активность ТРО, Бк
⁶⁰ Co	$3,0 \cdot 10^{10}$
⁶³ Ni	$1,7 \cdot 10^{11}$
⁹⁰ Sr	$8,3 \cdot 10^{10}$
¹³⁷ Cs	$2,8 \cdot 10^{11}$
¹⁵² Eu	$5,3 \cdot 10^{10}$
¹⁵⁴ Eu	$9,8 \cdot 10^9$
Всего	$6,3 \cdot 10^{11}$

Взрыв ракеты с образованием воронки глубиной 7 м и диаметром 30 м приведет к выбросу около 1500 м^3 ТРО, что превышает объем хранилища. Далее будем предполагать выброс при взрыве всего содержимого хранилища ТРО. В выбросе 1% активности будет связан с мелкодисперсной фракцией частиц со скоростью осаждения 0,05 см/с, которая поднимется вместе с высокотемпературным пылегазовым облаком на высоту 400 м. 10% активности в выбросе будут ассоциированы с более крупными частицами (скорость осаждения 2,5 см/с), которые будут рассеиваться из вертикального дымового столба, соединяющего высокотемпературное пылегазовое облако с землей.

Таким образом, при оценках распространения выброса в расчетах рассматривается суперпозиция двух источников.

Первый источник – точечный, высота 400 м, скорость осаждения частиц – 0,05 см/с, радионуклидный состав (Таблица 11):

Таблица 11. Радионуклидный состав высокотемпературного газового облака при выбросе из хранилища ТРО (Сооружение № 3).

Изотоп	Активность ТРО, Бк
^{60}Co	$3,0 \cdot 10^8$
^{63}Ni	$1,7 \cdot 10^9$
^{90}Sr	$8,3 \cdot 10^8$
^{137}Cs	$2,8 \cdot 10^9$
^{152}Eu	$5,3 \cdot 10^8$
^{154}Eu	$9,8 \cdot 10^7$
Всего	$6,3 \cdot 10^9$

Второй источник – линейный, высота от поверхности земли – 400 м, скорость осаждения частиц – 2,5 см/с, радионуклидный состав (Таблица 12):

Таблица 12. Радионуклидный состав дымового столба при выбросе из хранилища ТРО (Сооружение №3).

Изотоп	Активность ТРО, Бк
^{60}Co	$3,0 \cdot 10^9$
^{63}Ni	$1,7 \cdot 10^{10}$
^{90}Sr	$8,3 \cdot 10^9$
^{137}Cs	$2,8 \cdot 10^{10}$
^{152}Eu	$5,3 \cdot 10^9$
^{154}Eu	$9,8 \cdot 10^8$
Всего	$6,3 \cdot 10^{10}$

5.5. Функция источника для исходного события, связанного с попаданием противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 16 Филиала №2

Данные по активности ТРО в хранилище отсутствуют. Применим тот же подход, что и для ТРО сооружения № 3, полагая, что средняя по хранилищу удельная активность ТРО одинакова для сооружений № 3 и № 16 на момент загрузки, но среднее время выдержки для последнего хранилища составляет 15 лет. Пересчет данных Таблицы 10 с учетом объемов хранилищ и дополнительной активности ^{90}Sr в источниках «Бета-М» [20] дает следующий ожидаемый радионуклидный состав ТРО в сооружении № 16 (Таблица 13):

Таблица 13. Ожидаемый состав ТРО в сооружении № 16 на 2002 г.

Изотоп	Активность ТРО, Бк
^{60}Co	$1,1 \cdot 10^{11}$
^{63}Ni	$9,7 \cdot 10^{10}$
^{90}Sr	$6,6 \cdot 10^{11}$
^{137}Cs	$2,0 \cdot 10^{11}$
^{152}Eu	$5,9 \cdot 10^{10}$
^{154}Eu	$1,6 \cdot 10^{10}$
Всего	$7,1 \cdot 10^{12}$

Применяя тот же подход, что в предыдущем параграфе – 1% выброшенной активности в высокотемпературном всплывающем облаке на высоте 400 м и 10% в дымовом столбе, получим следующий комбинированный источник.

Первый источник – точечный, высота 400 м, скорость осаждения частиц – 0,05 см/с, радионуклидный состав (Таблица 14):

Таблица 14. Радионуклидный состав высокотемпературного газового облака при выбросе из хранилища ТРО (Сооружение № 16).

Изотоп	Активность ТРО, Бк
^{60}Co	$1,1 \cdot 10^9$
^{63}Ni	$9,7 \cdot 10^8$
^{90}Sr	$6,6 \cdot 10^9$
^{137}Cs	$2,0 \cdot 10^9$
^{152}Eu	$5,9 \cdot 10^8$
^{154}Eu	$1,6 \cdot 10^8$
Всего	$7,1 \cdot 10^{10}$

Второй источник – линейный, высота от поверхности земли – 400 м, скорость осаждения частиц – 2,5 см/с, радионуклидный состав (Таблица 15):

Таблица 15. Радионуклидный состав дымового столба при выбросе из хранилища ТРО (Сооружение № 16).

Изотоп	Активность ТРО, Бк
^{60}Co	$1,1 \cdot 10^{10}$
^{63}Ni	$9,7 \cdot 10^9$
^{90}Sr	$6,6 \cdot 10^{10}$
^{137}Cs	$2,0 \cdot 10^{10}$
^{152}Eu	$5,9 \cdot 10^9$
^{154}Eu	$1,6 \cdot 10^9$
Всего	$7,1 \cdot 10^{11}$

6. Модель атмосферного переноса, использовавшаяся в расчетах

Для оценок радиационного воздействия на население от предполагаемых выбросов использовалась разработанная в ИБРАЭ РАН мезомасштабная лагранжева траекторная модель атмосферного переноса. Модель реализована в компьютерной системе реального времени «НОСТРАДАМУС».

Возможности траекторной модели позволяют:

- рассчитывать перенос загрязнений на расстояния до сотни километров;
- учитывать реальную трехмерную неоднородность ветрового поля в пределах атмосферного пограничного слоя;
- рассматривать источник произвольной конфигурации и формы;
- учитывать дисперсный состав аэрозольных частиц;
- учитывать изменение со временем параметров источника и метеорологических условий;
- рассчитывать влияние рельефа местности на процесс рассеивания;
- рассчитывать влияние осадков с интенсивностью, зависящей от времени и координат.

Характеристики компьютерной системы «НОСТРАДАМУС»:

- ориентация на персональный компьютер;

- дружественный интерфейс в среде WINDOWS;
- оперативность прогноза - расчет одного часа реального времени переноса занимает 1-2 минуты на современном PC;
- представление результатов расчета в наиболее удобном для восприятия виде, на картографической основе с цветовым выделением зон, где ожидается превышение допустимых дозовых нагрузок с возможностью быстрого определения размеров зон поражения, количества людей в зоне поражения и т.д.;

Система «НОСТРАДАМУС» наряду с собственно лагранжевой траекторной моделью переноса примесей в атмосфере включает также модель атмосферного пограничного слоя, необходимую для восполнения вертикальной структуры поля скоростей ветра, а также для определения категории устойчивости атмосферы по синоптическим данным. Это позволяет использовать для расчетов различные источники и объемы метеорологических данных. Для определения коэффициентов турбулентного обмена используются табличные данные, основанные на многолетних наблюдениях вертикального профиля коэффициентов турбулентной диффузии, проведенных НПО «Гайфун».

Система содержит большую базу данных по свойствам радионуклидов и коэффициентам дозового преобразования для различных путей облучения. Это позволяет рассчитывать концентрации, плотности выпадений и дозовые нагрузки для широкого спектра радионуклидов в различных физико-химических формах (аэрозольная, газовая) с учетом их взаимных превращений при радиоактивном распаде. Система имеет специальный модуль для адаптации ветрового поля (полученного, например, из прогноза Росгидрометцентра) к рельефу местности.

При вводе данных об источнике выброса также предусмотрено несколько вариантов ввода информации, включая заранее подготовленные для заданных объектов сценарии аварии, в которых определено максимальное количество радионуклидов в выбросе, либо максимальная интенсивность выброса, а также компонентный состав выброса.

Система включает отдельный модуль анализа радиационной обстановки и оценки эффективности контрмер. В соответствии с прогнозируемыми индивидуальными дозами система показывает рекомендуемые нормативными документами защитные меры для выбранных населенных пунктов или территорий и оценивает эффективность тех или иных контрмер по снижению доз.

Верификация ПС НОСТРАДАМУС проводилась на основе 12 различных экспериментов по атмосферной дисперсии, проведенных в разное время разными исследователями в разных странах. Сюда вошли следующие эксперименты:

1. Четыре натуральных эксперимента по атмосферной дисперсии разных лабораторий Европы, проведенные в 1976-79 гг. [21]. Скорость и направление ветра на разных высотах в каждом эксперименте (E1, E2, E3, E4) измерялась на мачте вблизи источника. Определялся также класс устойчивости атмосферы. Валидация моделей на основе этих экспериментов была завершена и результаты опубликованы в 1987 году.
2. Эксперимент с выбросом ^{131}I , проведенный в Idaho INEL в 1972 г. Условия и результаты эксперимента приведены в [22].
3. Серия четырех мезомасштабных экспериментов по атмосферной дисперсии, проведенных в Германии Kernforschungszentrum, Karlsruhe (KfK) в 1983-85 гг. Условия и данные этих экспериментов содержатся в [23].
4. Натурные промышленные эксперименты с выбросом больших объемов природного газа. Эксперименты были проведены ВНИИГАЗом совместно с другими организациями в 1970-77 гг. с целью оценки последствий аварий на газотранспортной системе с выбросом больших объемов природного газа с повышенной сернистостью и обоснования размеров санитарно-защитной зоны вокруг объектов системы. Часть материалов экспериментов опубликована в [24,25].
5. Эксперименты по атмосферной дисперсии, проведенные в нестандартных условиях – аномально большие и малые скорости ветра. Экспериментальные данные двух экспериментов по рассеиванию примеси в атмосфере с аномально высокой скоростью ветра (30 м/сек) и низкой скоростью (3 м/сек) опубликованы в [26].

6. Эксперименты по распространению загрязнения в штилевых условиях.

Три серии натуральных экспериментов, были проведены в штилевых условиях (малая скорость ветра) для разных типов подстилающих поверхностей в Oak Ridge, Tennessee, в Louisiana and Pennsylvania и в Idaho. Условия и данные этих экспериментов опубликованы в [27-29].

Практически во всех перечисленных выше экспериментах детально фиксировалась метеорологическая обстановка и параметры источника. Как правило, в течение эксперимента происходили изменения скорости и направления ветра и класса устойчивости. Все эти изменения вводились как исходные данные для расчетов.

Результаты валидации модели на основе более 800 сопоставлений расчетных и измеренных данных показывают, что модель дает несмещенную оценку – отклонения в обе стороны практически равновероятны, и распределение имеет максимум, приходящийся на измеренное значение. Для данной точки с 50% вероятностью отклонение от прогноза не превышает 2 -4 раза, а с 90% вероятностью – не превышает 10 – 20 раз. Величина максимума плотности примеси предсказывается заметно точнее - с вероятностью 90% отклонение не превышает 3. Это важно для консервативных оценок, когда с большой степенью достоверности требуется убедиться в отсутствии на данном расстоянии от источника концентраций, превышающих определенный уровень.

7. Анализ результатов расчетов радиационных последствий для рассматриваемых событий

Расчеты проводились по компьютерной модели «НОСТРАДАМУС» для категории устойчивости атмосферы по Пасквиллу «Е» при скорости ветра 2 м/с.

Для рассмотренных источников проводилась оценка максимальной плотности выпадений по сумме радионуклидов, которая сделает непригодными для постоянного проживания загрязненные территории. Для оценок использовались контрольные уровни аварийного загрязнения почвы из [30].

Критерием непригодности территории для постоянного проживания принималась ожидаемая за жизнь эффективная доза 1 Зв [31]. С учетом того, что в рассматриваемых районах не ведутся интенсивные сельскохозяйственные работы и дозы могут быть снижены при проведении защитных мероприятий, значения контрольных уровней из [Б-Г] были увеличены на порядок.

7.1. Падение самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в бухте Сысоева (сооружение №5, Филиал №1)

Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при падении самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в б. Сысоева (сооружение №5) приведены в Таблице 16 и на Рис. 3.

Таблица 16. Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при падении самолета на разгруженное хранилище ОЯТ в б. Сысоева.

Расстояние по оси следа, км	Загрязнение поверхности, 10^7 Бк/м ²	Доза внешнего облучения за 10 суток, мЗв	Эффективная доза за год, мЗв
2		0,014	0,51
3		0,0063	0,23
4		0,004	0,15

5		0,0028	0,10
6		0,002	0,07
8		0,0011	0,04
10		0,00074	0,03
12		0,00051	0,02

Для радионуклидной композиции данного источника значение плотности выпадений, соответствующее отселению людей, составит $2,8 \cdot 10^6$ Бк/м². Область, ограниченная указанной изолинией, невелика – для рассматриваемого источника ее протяжение составит порядка сотни метров.

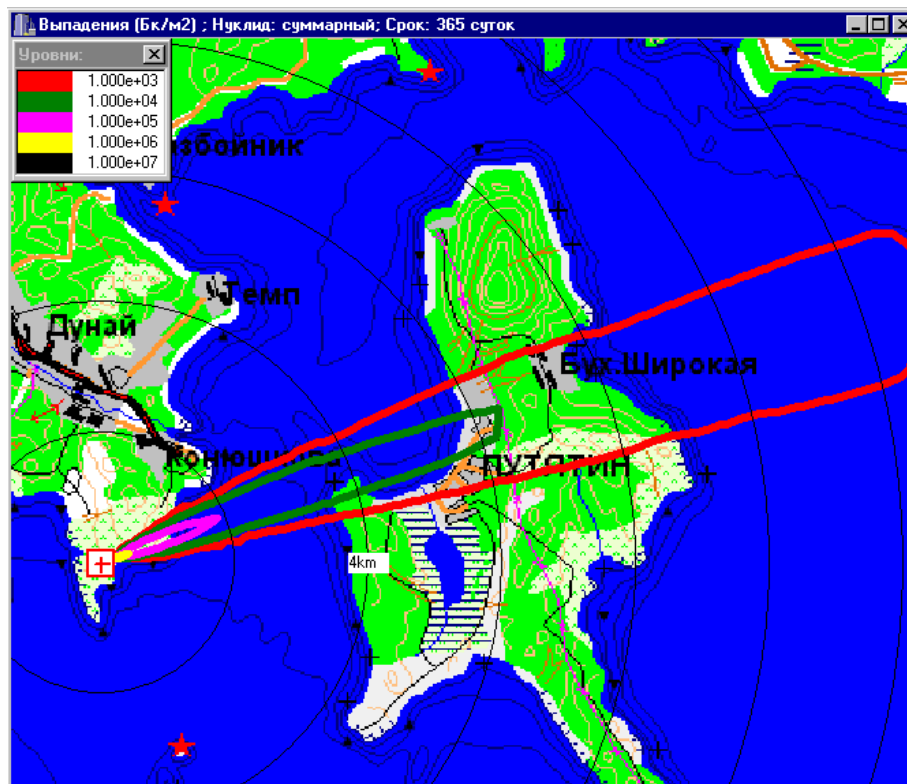


Рис. 3. Пример представления результатов моделирования с помощью компьютерной системы «НОСТРАДАМУС» для исходного события, связанного падением самолета на сооружение №5 технической площадки б. Сысоева (плотность выпадений).

7.2. Попадание противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 31 Филиала №1

Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище высокоактивных ТРО в б. Сысоева (сооружение №31) приведены в Таблице 17 и на Рис. 4.

Таблица 17. Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище высокоактивных ТРО в б. Сысоева.

Расстояние по оси следа, км	Загрязнение поверхности, 10^6 Бк/м ²	Доза внешнего облучения за 10 суток, мЗв	Эффективная доза за год, мЗв
2	8	45	1643
3	4	24	876
4	3,2	18	657
5	3	16,5	602
6	2,6	15	548
8	1,6	9,5	347
10	1,2	7	256
12	0,8	4,7	172
14	0,65	4	146

Для радионуклидной композиции данного источника значение плотности выпадений, соответствующее отселению людей, составит $2,8 \cdot 10^6$ Бк/м². Соответствующая изолиния приведена на Рис. 5.

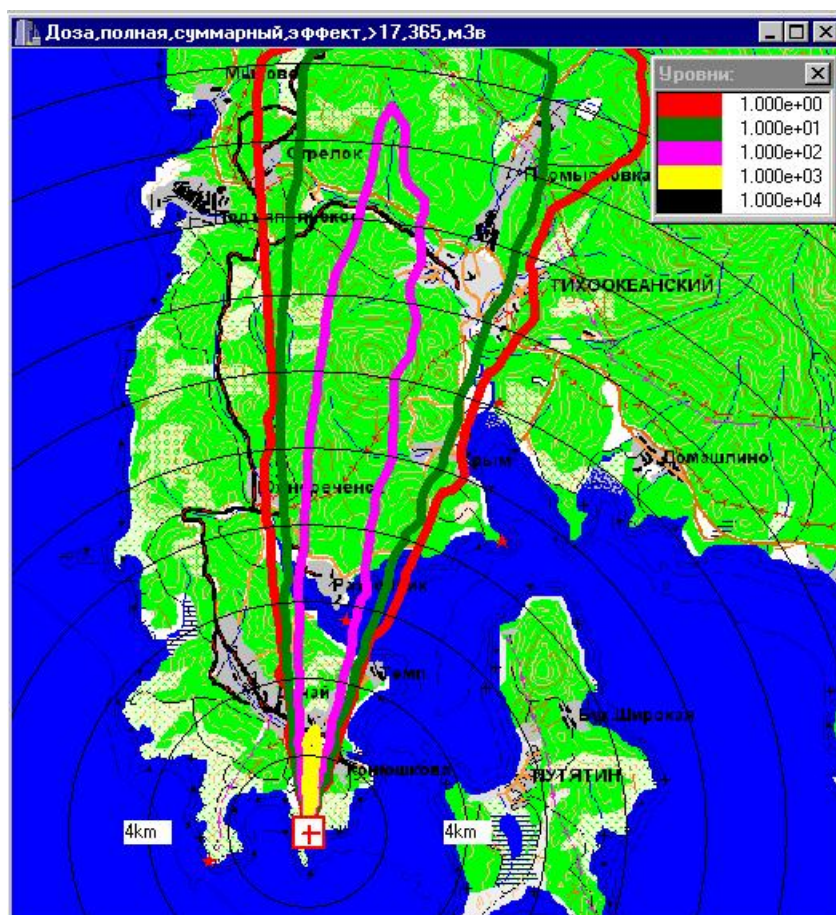


Рис. 4. Пример представления результатов моделирования с помощью компьютерной системы «НОСТРАДАМУС» для исходного события, связанного с попаданием ракеты в сооружение №31 технической площадки б. Сысоева (годовая эффективная доза).

7.3. Попадание противокорабельной ракеты в «сухое» хранилище ОТВС сооружения № 30 Филиала №1

Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище ОЯТ в б. Сысоева (сооружение №30) приведены в Таблице 18 и на Рис. 6.

Таблица 18. Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище ОЯТ в б. Сысоева.

Расстояние по оси следа, км	Загрязнение поверхности, 10^3 Бк/м ²	Ингаляционная доза, мЗв	Доза внешнего облучения за 10 суток, мЗв	Эффективная доза за год, мЗв
2	5	26	7	256
3	4	20	5,2	190
4	2,6	14	3,3	120
5	2	12	2,8	102
6	1,8	10	2,5	91
8	1	5	1,5	55
10	0,7	3,5	0,8	29

Для радионуклидной композиции данного источника значение плотности выпадений, соответствующее отселению людей, составит $7,4 \cdot 10^5$ Бк/м². Соответствующая изолиния приведена на Рис. 7.

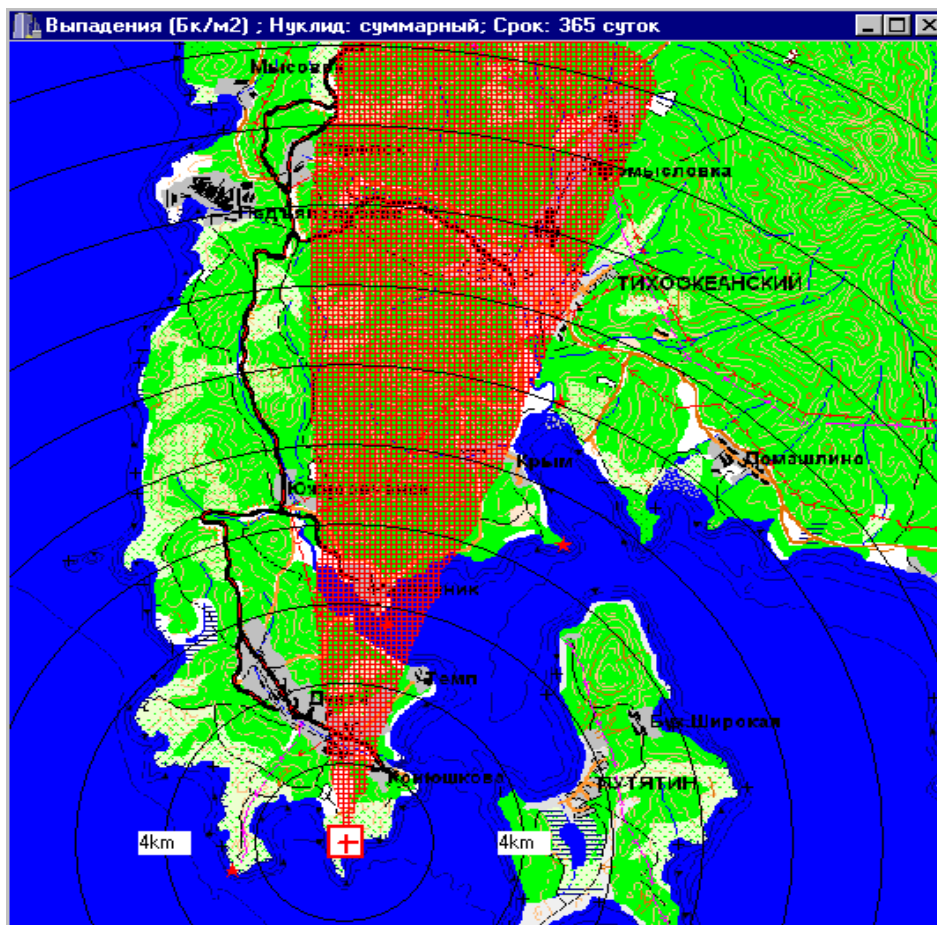


Рис. 5. Область непригодная для постоянного проживания людей вследствие загрязнения, вызванного попаданием ракеты в сооружение №31 технической площадки б. Сысоева.

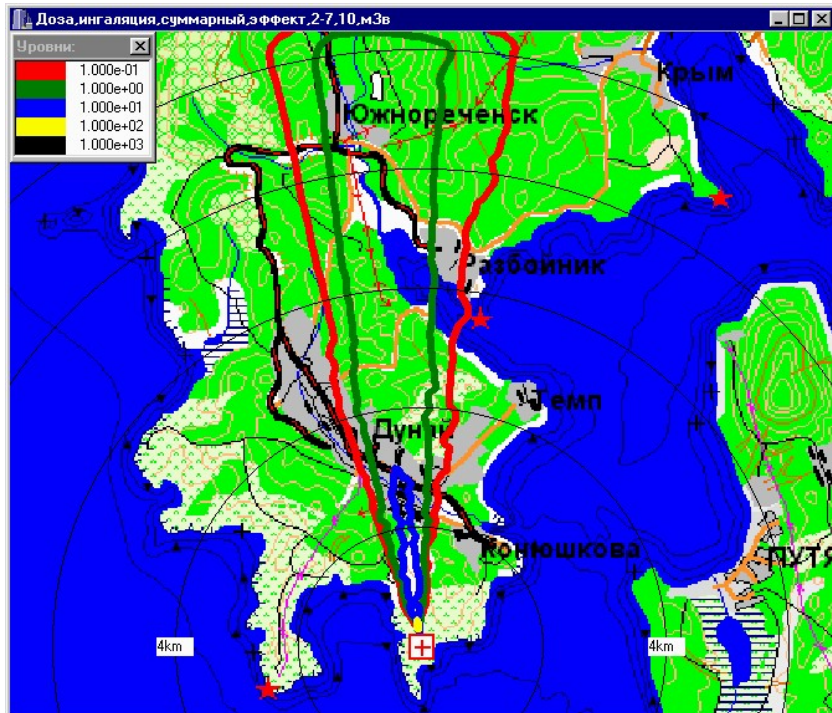


Рис. 6. Пример представления результатов моделирования с помощью компьютерной системы «НОСТРАДАМУС» для исходного события, связанного с попаданием ракеты в сооружение №30 технической площадки б. Сысова (эффективная ингаляционная доза).

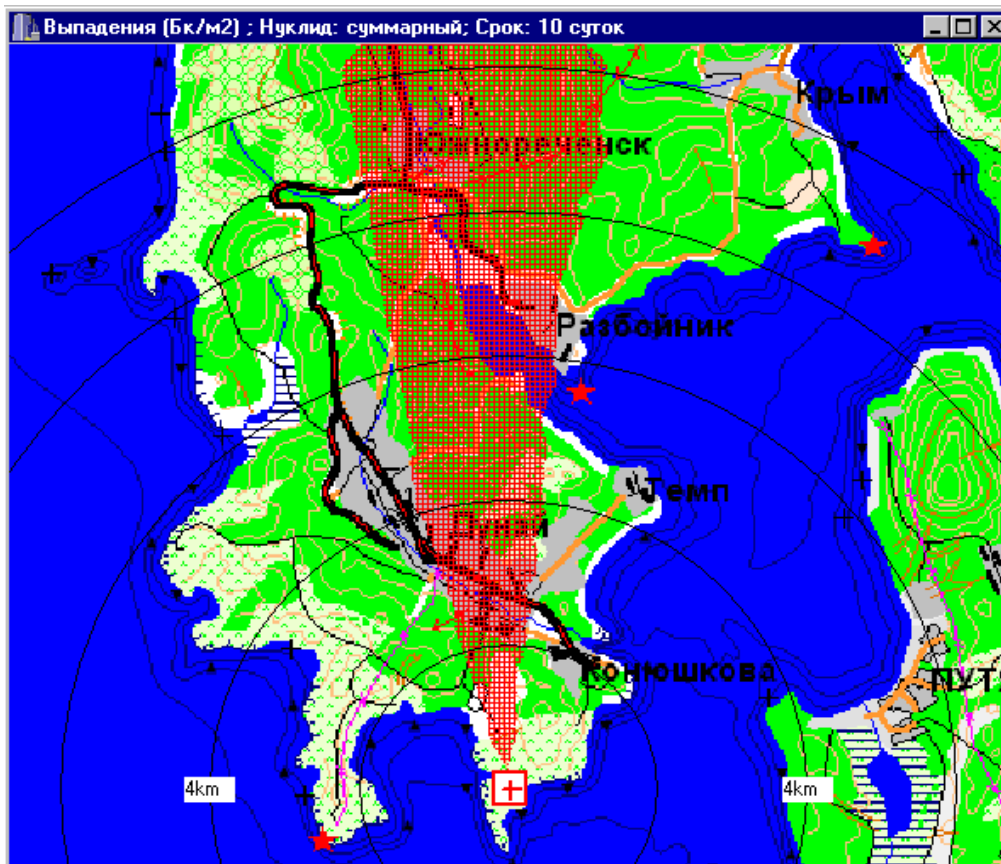


Рис. 7. Область непригодная для постоянного проживания людей вследствие загрязнения, вызванного попаданием ракеты в сооружение №30 технической площадки б. Сысова.

7.4. Попадание противокорабельной ракеты в хранилище ТРО сооружения № 16 Филиала №2

Поскольку содержание радионуклидов в хранилище ТРО – сооружении №3 существенно меньше, чем в сооружении №16, а функции источника однотипны, далее проводится анализ последствий выброса только для попадания ракеты в сооружение №16.

Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище ТРО (сооружение №16) приведены в Таблице 19 и на Рис. 8.

Таблица 19. Результаты расчетов радиологических последствий, ожидаемых при попадании противокорабельной ракеты в хранилище ТРО в б. Горбушечья.

Расстояние по оси следа, км	Загрязнение поверхности, 10^7 Бк/м ²	Доза внешнего облучения за 10 суток, мЗв	Эффективная доза за год, мЗв
2	5	0,00046	0,02
3	4	0,00035	0,01
4	2,6	0,00025	0,01

Для радионуклидной композиции данного источника значение плотности выпадений, соответствующее отселению людей, составит $5,1 \cdot 10^5$ Бк/м². Соответствующая изолиния ограничивает область протяженностью несколько десятков метров около сооружения.

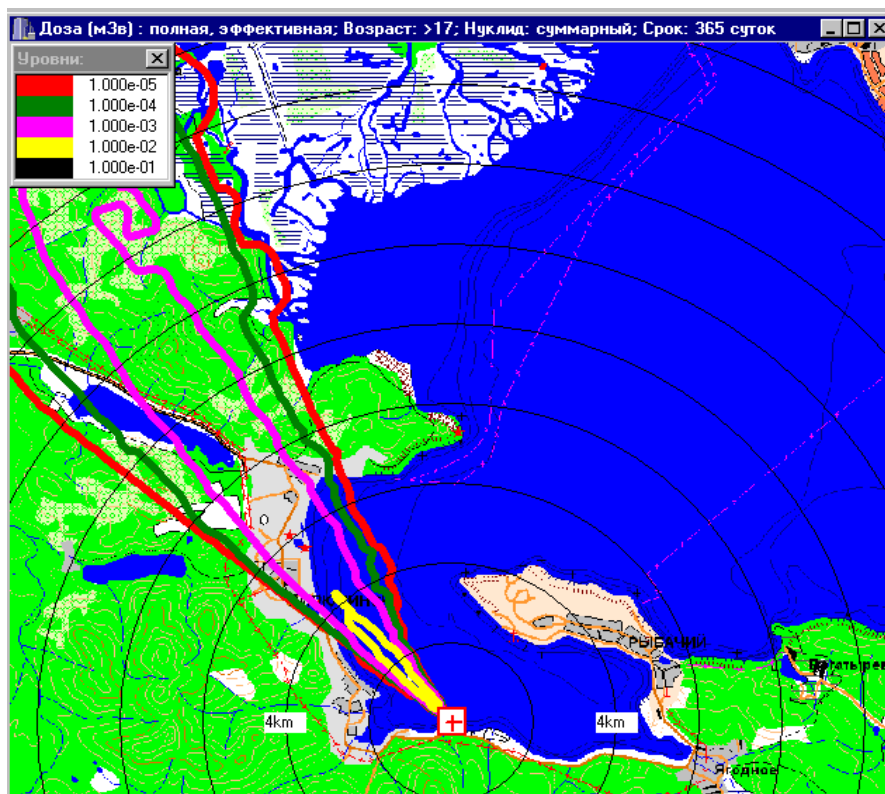


Рис. 8. Пример представления результатов моделирования с помощью компьютерной системы «НОСТРАДАМУС» для исходного события, связанного с попаданием ракеты в хранилище ТРО в б. Горбушечья (эффективная доза за год).

8. Выводы

Наибольшую опасность с точки зрения рассматриваемых инцидентов представляют объекты Филиала №1 «ДальРАО», расположенные на технической площадке б. Сыроева. Среди рассмотренных таковыми являются «сухое» хранилище ОЯТ и могильник высокоактивных ТРО. При взрывном разрушении этих объектов радиационное воздействие на население ближайших населенных пунктов может оказаться достаточно серьезным и потребует проведения организационных мер по их защите.

Максимальные расчетные дозовые нагрузки на население для поселка Дунай могут составить до 20 мЗв по ингаляционной дозе и свыше 20 мЗв по дозе внешнего облучения за 10 суток, для поселков Пуятин и Южнореченский – 6-9 мЗв. Годовые дозы могут достигать сотен мЗв.

Таким образом, ожидаемое радиационное воздействие не потребует проведения неотложных (в течение первых суток после выброса) защитных мероприятий для населения, но сделает непригодным для постоянного проживания населения значительные территории протяженностью до 40 километров (см. Рис. 5,7).

Радиационное воздействие на население при рассмотренных инцидентах на объектах площадки Филиала №2 «ДальРАО» незначительно.

Литература

1. Данилян В.А., Высоцкий В.Л., Максимов А.А. Радиоэкологическая обстановка на территории береговых технических баз Дальневосточного региона. Атомная энергия т. 89(2), 2001. – с. 160-166.
2. Единые правила безопасности при взрывных работах. М.: НПО ОБТ, 1992. – 238 с.
3. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожароопасных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств. ПБ 09-170-97.
4. Сборник методик по прогнозированию возможных аварий, катастроф, стихийных бедствий в РСЧС. МЧС России, – 1994.
5. Фокин В.А. Определение параметров воронки выброса при ядерном взрыве. Атомная энергия, т. 89(3), 2000. – с. 241-247.
6. Бронштэйн В.А. Развитие взглядов на происхождение кольцевых структур на планетах и современное состояние проблемы. В кн.: Метеоритные структуры на поверхности планет. М.: Наука, 1979. - с. 7-30.
7. Договор между СССР и США о ликвидации ракет средней дальности и меньшей дальности. Известия, 9 декабря 1987 г.
8. Экологические проблемы и риски воздействий ракетно-космической техники на окружающую природную среду. Справочное пособие. Под общей редакцией чл.-корр. РАН Адушкина В.В., д. ф.-м. н. Козлова С.И. и к. т. н. Петрова А.В. М.: Издательство «Анкил». 2000. 640 с.
9. Беликов В.В., Головизнин В.М., Семенов В.Н., Сорокикова О.С., Стародубцева Л.П., Фокин А.Л. Модель конвективного подъема примесей при выбросе в атмосферу при взрывном выделении энергии. Известия Академии наук, сер. Энергетика, №5, 2000, с. 128–136.
10. Ламб Г. Гидродинамика. М.: Гостехиздат, 1947, 56 с.
11. Bader В.Е. Heat Transfer in Liquid Hydrocarbon Fuel Fires. Sandia Labs. SC-R-64-1366A. June 1965. p. – 21.
12. Либман Ж. О ядерной безопасности. Пер. А.Габар, ИПСН, - 1997.
13. Берлянд М.Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнение атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975.
14. Ядерная, радиационная и экологическая безопасность активных зон и реакторных отсеков выведенных из эксплуатации АПЛ; возможные последствия аварийных внешних воздействий на АПЛ находящихся в длительном отстое; ядерная безопасность плавтехбаз с невыгружаемыми ОТВС. Отчет ИЯР РНЦ «Курчатовский институт», инв. № 31/1-430-99 от 17.12.99. – Москва – 1999.

15. Научно-технический отчет отчет по НИР «Утилизация». Перечень возможных аварийных ситуаций при временном хранении выведенных из эксплуатации ПЛА и их реакторных отсеков. НИИ 1 МО РФ и РНЦ КИ, инв. № 31/3/1-300-97 от 25.12.1997 по учету РНЦ КИ.
16. Радиационный потенциал реакторных отсеков АПЛ с ЖМТ с выгруженными и невыгруженными активными зонами. Отчет ГНЦ РФ ФЭИ инв. №34-21/130 от 21.09.1999, Обнинск. – 1999 г.
17. Богатов С.А., Гаврилов С.Л., Данилян В.А., Киселев В.П. Оценка выхода радионуклидов для ряда гипотетических аварий на объектах ВМФ. Препринт ИБРАЭ №ИВРАЭ-2001-07. Москва, 2001 – 33 с.
18. Енговатов И.А., Машкович В.П., Орлов Ю.В., Пологих Б.Г., Хлопкин Н.С., Цыпин С.Г. Радиационная безопасность при выводе из эксплуатации реакторных установок гражданского и военного назначения. Проект МНТЦ №465-97. М.: ПАМИС, 1999. – 300 с.
19. Радиационный потенциал реакторных отсеков АПЛ с ЖМТ с выгруженными и невыгруженными активными зонами. Отчет ГНЦ РФ ФЭИ инв. №34-21/130 от 21.09.1999, Обнинск. – 1999 г.
20. Правила гидрографической службы №23. Радиоизотопные энергетические устройства (ПГС №23). МО СССР. – 1990.
21. J.Pasler-Sauer Comparative calculations and validation studies with atmospheric dispersion models. Report KfK 4164, November 1986, 130 с.
22. Rolf Lange ADPIC-a three dimensional particle in cell model for the dispersal of atmospheric pollutants and its comparison to regional tracer studies. //J. of applied meteorology, 1978, v.17, №3, pp.320-329.
23. P.Thomas, S.Vogt, P.Gaglione Mesoscale Atmospheric Experiment Using Tracer and Tetroons Simultaneously at Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK 4147 EUR 10907 EN, 112p.
24. Grisenko A.I., Belov N.S., Semenov V.N., Sorokovikova O.S. The Unique Experiments on the Assessment of Accident Consequences at the Gas Transport Systems. Society for Risk Analysis -EUROPE, Stockholm 1997, p.724-729.
25. Белов Н.С. Временная методика расчета газовых выбросов из наземных источников на объектах газовой промышленности. М.РАО ГАЗПРОМ.1987.42с.
26. Н.Л.Бызова, Е.К.Гаргер, В.Н.Иванов. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси.- Л: Гидрометеиздат, 1991, 275с.
27. Wilson R.G., G.E.Start, C.R.Dickson, N.R. Ricks. Diffusion under low wind speed conditions near Oak-Ridge, Tennessee, NOAA Technical Memorandum RRL AIR 61, 1976.
28. Sadendorf J.F., C.R. Dickon. Diffusion under low wind speed inversion conditions, NOAA Technical Memorandum ERL ARI 52, 1974.
29. Van der Haven A survey of field measurement of atmospheric inversion conditions //Nucl. Safety 17(2), 1976.
30. Гусев Н.Г., Беляев В.А. Радиоактивные выбросы в биосфере: Справочник. М.: Энергоатомиздат, 1986. - 224 с.
31. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99) СП 2.6.1. 758-99. Минздрав России, 1999.