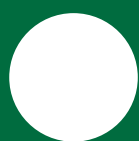


Авария на АЭС «Фукусима-дайити»



Доклад Генерального директора



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

АВАРИЯ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙИТИ"

ДОКЛАД ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

Членами Международного агентства по атомной энергии являются следующие государства:

АВСТРАЛИЯ	ИТАЛИЯ	ПАПУА-НОВАЯ ГВИНЕЯ
АВСТРИЯ	ЙЕМЕН	ПЕРУ
АЗЕРБАЙДЖАН	КАЗАХСТАН	ПОЛЬША
АЛБАНИЯ	КАМБОДЖА	ПОРТУГАЛИЯ
АЛЖИР	КАМЕРУН	РЕСПУБЛИКА МОЛДОВА
АНГОЛА	КАНАДА	РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ
АРГЕНТИНА	КАТАР	РУАНДА
АРМЕНИЯ	КЕНИЯ	РУМЫНИЯ
АФГАНИСТАН	КИПР	САЛЬВАДОР
БАГАМСКИЕ ОСТРОВА	КИТАЙ	САН-МАРИНО
БАНГЛАДЕШ	КОЛУМБИЯ	САУДОВСКАЯ АРАВИЯ
БАХРЕЙН	КОНГО	СВАЗИЛЕНД
БЕЛАРУСЬ	КОРЕЯ, РЕСПУБЛИКА	СВЯТОЙ ПРЕСТОЛ
БЕЛИЗ	КОСТА-РИКА	СЕЙШЕЛЬСКИЕ ОСТРОВА
БЕЛЬГИЯ	КОТ-д'ИВУАР	СЕНЕГАЛ
БЕНИН	КУБА	СЕРБИЯ
БОЛГАРИЯ	КУВЕЙТ	СИНГАПУР
БОЛИВИЯ, МНОГОНАЦИОНАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВО	КЫРГЫЗСТАН	СИРИЙСКАЯ АРАБСКАЯ РЕСПУБЛИКА
БОСНИЯ И ГЕРЦЕГОВИНА	ЛАТВИЯ	СЛОВАКИЯ
БОТСВАНА	ЛАОССКАЯ НАРОДНО- ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА	СЛОВЕНИЯ
БРАЗИЛИЯ	ЛЕСОТО	СОЕДИНЕННОЕ КОРОЛЕВСТВО ВЕЛИКОБРИТАНИИ И СЕВЕРНОЙ ИРЛАНДИИ
БРУНЕЙ-ДАРУССАЛАМ	ЛИБЕРИЯ	СОЕДИНЕННЫЕ ШТАТЫ АМЕРИКИ
БУРКИНА-ФАСО	ЛИВАН	СУДАН
БУРУНДИ	ЛИВИЯ	СЬЕРРА-ЛЕОНЕ
БЫВШАЯ ЮГОСЛ. РЕСП. МАКЕДОНИЯ	ЛИТВА	ТАДЖИКИСТАН
ВЕНГРИЯ	ЛИХТЕНШТЕЙН	ТАИЛАНД
ВЕНЕСУЭЛА, БОЛИВАРИАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ЛЮКСЕМБУРГ	ТОГО
ВЬЕТНАМ	МАВРИКИЙ	ТРИНИДАД И ТОБАГО
ГАБОН	МАВРИТАНИЯ	ТУНИС
ГАИТИ	МАДАГАСКАР	ТУРЦИЯ
ГАЙАНА	МАЛАВИ	УГАНДА
ГАНА	МАЛАЙЗИЯ	УЗБЕКИСТАН
ГВАТЕМАЛА	МАЛИ	УКРАИНА
ГЕРМАНИЯ	МАЛЬТА	УРУГВАЙ
ГОНДУРАС	МАРОККО	ФИДЖИ
ГРЕЦИЯ	МАРШАЛЛОВЫ ОСТРОВА	ФИЛИППИНЫ
ГРУЗИЯ	МЕКСИКА	ФИНЛЯНДИЯ
ДАНИЯ	МОЗАМБИК	ФРАНЦИЯ
ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ РЕСПУБЛИКА КОНГО	МОНАКО	ХОРВАТИЯ
ДЖИБУТИ	МОНГОЛИЯ	ЦЕНТРАЛЬНОАФРИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ДОМИНИКА	МЬЯНМА	ЧАД
ДОМИНИКАНСКАЯ РЕСПУБЛИКА	НАМИБИЯ	ЧЕРНОГОРИЯ
ЕГИПЕТ	НЕПАЛ	ЧЕШСКАЯ РЕСПУБЛИКА
ЗАМБИЯ	НИГЕР	ЧИЛИ
ЗИМБАБВЕ	НИГЕРИЯ	ШВЕЙЦАРИЯ
ИЗРАИЛЬ	НИДЕРЛАНДЫ	ШВЕЦИЯ
ИНДИЯ	НИКАРАГУА	ШРИ-ЛАНКА
ИНДОНЕЗИЯ	НОВАЯ ЗЕЛАНДИЯ	ЭКВАДОР
ИОРДАНИЯ	НОРВЕГИЯ	ЭРИТРЕЯ
ИРАК	ОБЪЕДИНЕННАЯ РЕСПУБЛИКА ТАНЗАНИЯ	ЭСТОНИЯ
ИРАН, ИСЛАМСКАЯ РЕСПУБЛИКА	ОБЪЕДИНЕННЫЕ АРАБСКИЕ ЭМИРАТЫ	ЭФИОПИЯ
ИРЛАНДИЯ	ОМАН	ЮЖНАЯ АФРИКА
ИСЛАНДИЯ	ПАКИСТАН	ЯМАЙКА
ИСПАНИЯ	ПАЛАУ	ЯПОНИЯ
	ПАНАМА	
	ПАРАГВАЙ	

Устав Агентства был утвержден 23 октября 1956 года на Конференции по выработке Устава МАГАТЭ, которая состоялась в Центральном учреждении Организации Объединенных Наций в Нью-Йорке. Устав вступил в силу 29 июля 1957 года. Центральные учреждения Агентства находятся в Вене. Главной целью Агентства является достижение “более скорого и широкого использования атомной энергии для поддержания мира, здоровья и благосостояния во всем мире”.

АВАРИЯ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙИТИ"

ДОКЛАД ГЕНЕРАЛЬНОГО ДИРЕКТОРА

ПРЕДИСЛОВИЕ

Юкии Аmano
Генерального директора

В настоящем докладе представлен анализ причин и последствий аварии на атомной электростанции "Фукусима-дайити" в Японии, начавшейся 11 марта 2011 года. Она была вызвана гигантским цунами, возникшим в результате сильного землетрясения, и стала самой серьезной аварией на атомной электростанции после чернобыльской катастрофы в 1986 году.

Для понимания произошедшего и его причин в докладе рассматриваются человеческие, организационные и технические факторы, чтобы правительства, регулирующие органы и операторы атомных электростанций во всем мире могли принять соответствующие меры с учетом извлеченных из аварии уроков. Кроме того, в докладе анализируются действия по реагированию на аварию, предпринятые как в Японии, так и на международном уровне.

Нельзя забывать о тяжелейших последствиях аварии на АЭС "Фукусима-дайити" для населения. Выброс радионуклидов в окружающую среду стал причиной эвакуации более 100 000 человек. На момент подготовки настоящего доклада в 2015 году многие из них все еще не имели возможности вернуться домой.

Я побывал на станции "Фукусима-дайити" спустя несколько месяцев после аварии и воочию увидел масштабные и разрушительные последствия цунами. Увиденное глубоко потрясло меня и заставило серьезно задуматься.

Вместе с тем на меня произвели неизгладимое впечатление мужество и самоотверженность работников и руководителей, которые после удара цунами не покинули своих рабочих мест и в тяжелейших условиях старались восстановить контроль над поврежденными реакторами. Им пришлось действовать наугад в обстоятельствах, к которым они не были подготовлены, зачастую не располагая необходимым оборудованием. Эти люди достойны нашего уважения и восхищения.

Одним из главных факторов, способствовавших аварии, стало широко распространенное в Японии мнение, что атомные электростанции страны настолько безопасны, что авария подобного масштаба просто немыслима. Это мнение поддерживали сами операторы атомных электростанций, и его не ставили под сомнение ни регулирующие органы, ни правительство. В результате Япония оказалось недостаточно подготовленной к тяжелой ядерной аварии, происшедшей в марте 2011 года.

Авария на АЭС "Фукусима-дайити" выявила определенные недостатки в японской системе регулирования. Обязанности были распределены между несколькими органами, и не всегда было ясно, кто обладает теми или иными полномочиями.

Определенные недостатки имелись и в конструктивных особенностях станции, механизмах обеспечения аварийной готовности и реагирования и планах управления тяжелой аварией. Предполагалось, что выход из строя всей системы электроснабжения отдельно взятой атомной электростанции возможен лишь на короткий промежуток времени. Не учитывалась вероятность возникновения нештатной ситуации сразу на

нескольких реакторах одной станции. И, наконец, были недостаточно продуманы меры на случай ядерной аварии, происходящей одновременно с крупным стихийным бедствием.

После аварии Япония реформировала свою систему регулирования, теснее увязав ее с международными нормами. Обязанности регулирующих органов были сформулированы более четко, а их полномочия расширены. Новая система регулирования будет проанализирована международными экспертами в ходе миссии МАГАТЭ в рамках комплексных услуг по рассмотрению вопросов регулирования. Были также усилены механизмы обеспечения аварийной готовности и реагирования.

Меры, принятые по следам аварии другими странами, включали в себя проведение "стресс-тестов" для переоценки проектных параметров атомных электростанций с учетом характерных для данной площадки экстремальных природных явлений, установку дополнительных резервных источников электропитания, увеличение запасов воды и усиление защиты станции от экстремальных внешних событий.

Хотя ответственность за обеспечение ядерной безопасности по-прежнему несет каждая страна в отдельности, ядерные аварии могут выходить за пределы национальных границ. Авария на АЭС "Фукусима-дайити" наглядно показала, сколь велико значение эффективного международного сотрудничества. Основная часть этого сотрудничества осуществляется в рамках МАГАТЭ. Спустя несколько месяцев после аварии наши государства-члены приняли План действий МАГАТЭ по ядерной безопасности и выполняют его положения, имеющие широкую сферу применения и направленные на укрепление ядерной безопасности во всем мире.

После аварии МАГАТЭ оказывало Японии техническую и экспертную помощь и информировало мир о ходе кризиса; кроме того, оно рассмотрело и усовершенствовало собственные механизмы реагирования на ядерные аварийные ситуации. К числу наших функций во время таких ситуаций были добавлены анализ их потенциальных последствий и подготовка возможных сценариев развития кризиса.

В нормах безопасности МАГАТЭ нашел выражение международный консенсус в отношении того, что следует считать высоким уровнем безопасности. После аварии их проанализировала Комиссия по нормам безопасности. Было предложено и принято несколько поправок. Я призываю все страны в полном объеме выполнять нормы безопасности МАГАТЭ.

Экспертные рассмотрения МАГАТЭ призваны играть ключевую роль в обеспечении глобальной ядерной безопасности, так как они дают странам возможность воспользоваться независимыми оценками, которые подготовлены ведущими международными экспертами на основе общей системы норм безопасности МАГАТЭ. Они посвящены таким вопросам, как эксплуатационная безопасность на атомных электростанциях, эффективность работы ядерных регулирующих органов и проектирование площадок атомных электростанций с учетом конкретных опасностей. Мы начали совершенствовать нашу программу экспертных рассмотрений после аварии и продолжим эту работу в будущем.

Я уверен, что авария на АЭС "Фукусима-дайити" заставит заострить внимание на вопросах ядерной безопасности во всем мире. На всех АЭС, которые я посетил, я был свидетелем улучшения мер и процедур обеспечения безопасности. Общеизвестно, что

люди должны сделать все возможное, чтобы таких аварий больше не повторялось. Актуальность этой задачи возрастает, поскольку в ближайшие десятилетия вероятно дальнейшее расширение ядерной энергетики во всем мире.

Ни у одной страны нет оснований останавливаться на достигнутом уровне ядерной безопасности. Некоторые причины, приведшие к аварии на АЭС "Фукусима-дайити", характерны не только для Японии. Постоянная критическая оценка и готовность учиться на опыте – это залог культуры безопасности и необходимые качества каждого человека, который связан с ядерной энергетикой. Безопасность должна всегда стоять на первом месте.

Я выражаю признательность экспертам из многих стран и международных организаций за их вклад в подготовку настоящего доклада и моим коллегам в МАГАТЭ за его составление и редактирование. Надеюсь, что этот доклад и прилагающиеся к нему технические тома станут ценным подспорьем в деле непрерывного укрепления безопасности во всех странах, которые используют или планируют использовать ядерную энергетику.

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Финансовая помощь была представлена Канадой, Российской Федерацией, Соединенным Королевством, Соединенными Штатами Америки и Японией.

Взносы в натуральной форме были получены от Австралии, Аргентины, Беларуси, Бразилии, Ганы, Германии, Израиля, Индии, Индонезии, Исландии, Испании, Италии, Канады, Китая, Кубы, Малайзии, Марокко, Мексики, Нидерландов, Новой Зеландии, Норвегии, Объединенной Республики Танзания, Объединенных Арабских Эмиратов, Пакистана, Перу, Польши, Республики Корея, Российской Федерации, Сирийской Арабской Республики, Словакии, Соединенного Королевства, Соединенных Штатов Америки, Турции, Украины, Филиппин, Финляндии, Франции, Чешской Республики, Швейцарии, Швеции, Южной Африки и Японии. Вклад в натуральной форме внесли Агентство по ядерной энергии ОЭСР, Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих АЭС, Всемирная метеорологическая организация, Европейская комиссия, Международная группа по ядерной безопасности, Международная комиссия по радиологической защите, Международная организация труда, Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации и Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций.

Правительство Японии оказало неоценимую поддержку, обеспечив предоставление большого количества информации, участие японских экспертов в работе над докладом и логистическую поддержку в проведении двусторонних встреч в Японии.

Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации оказал помощь МАГАТЭ, предоставив доступ к соответствующей базе данных по справочным материалам своего доклада за 2013 год и разрешив воспроизводить информацию и иллюстрации из доклада.

МАГАТЭ выражает благодарность большому числу экспертов, принявших участие в подготовке настоящего доклада. Он представляет собой плод самоотверженных усилий многих людей. Все участники, перечисленные в конце настоящего доклада, внесли ценный вклад, однако особенно большой объем работы был проделан сопредседателями и координаторами в рамках рабочих групп. С признательностью следует также отметить усилия многих экспертов-рецензентов, в том числе членов Международной технической консультативной группы.

СОДЕРЖАНИЕ

РЕЗЮМЕ.....	1
ИТОГОВЫЙ ДОКЛАД	26
1. ВВЕДЕНИЕ.....	26
1.1. ДОКЛАД ОБ АВАРИИ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙТИ"	27
2. АВАРИЯ И ЕЕ ОЦЕНКА	31
2.1. ОПИСАНИЕ АВАРИИ.....	31
2.1.1. Исходное событие и реагирование.....	31
2.1.2. Развитие аварии.....	44
2.1.3. Усилия по стабилизации	58
2.2. СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	64
2.2.1. Уязвимость станции к воздействию внешних событий	64
2.2.2. Применение концепции глубокоэшелонированной защиты	69
2.2.3. Оценка отказа выполнять фундаментальные функции безопасности	73
2.2.4. Оценка запроектных аварий и управления аварией	80
2.2.5. Оценка эффективности регулирующих органов.....	85
2.2.6. Оценка человеческих и организационных факторов.....	91
2.3. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ	95
3. АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ	100
3.1. ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ НА АВАРИЮ В ЯПОНИИ	101
3.1.1. Оповещение	103
3.1.2. Меры по смягчению последствий	104
3.1.3. Управление аварийной ситуацией.....	107
3.2. ЗАЩИТА АВАРИЙНЫХ РАБОТНИКОВ	111
3.2.1. Защита персонала станции после землетрясения и цунами.....	111
3.2.2. Меры по защите аварийных работников	112
3.2.3. Назначение аварийных работников	113
3.2.4. Медицинское обслуживание аварийных работников.....	114
3.3. ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ	114
3.3.1. Неотложные защитные меры и переселение.....	115
3.3.2. Защитные мероприятия в отношении пищевых продуктов, питьевой воды и сельского хозяйства	120
3.3.3. Общественная информация.....	121
3.3.4. Международная торговля.....	123
3.3.5. Обращение с отходами в аварийной фазе.....	123
3.4. ПЕРЕХОД ОТ АВАРИЙНОЙ ФАЗЫ К ЭТАПУ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И АНАЛИЗУ РЕАГИРОВАНИЯ	124
3.4.1 Переход от аварийной фазы к этапу восстановительных работ	125
3.4.2 Анализ реагирования	125
3.5. РЕАГИРОВАНИЕ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ГОТОВНОСТИ И РЕАГИРОВАНИЯ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	126
3.6. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ	129
4. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ	134
4.1. РАДИОАКТИВНОСТЬ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ.....	140
4.1.1. Выбросы.....	141

4.1.2.	Рассеивание	142
4.1.3.	Осаждение.....	146
4.1.4.	Потребительские товары	149
4.2.	ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ.....	153
4.2.2	Ограничение профессионального облучения, в том числе облучения аварийных работников	158
4.3.	Радиационное облучение	159
4.3.1	Облучение населения.....	161
4.3.2	Профессиональное облучение	168
4.4.	Последствия для ЗДОРОВЬЯ	171
4.4.1	Ранние радиационно-индуцированные последствия для здоровья.....	173
4.4.2	Потенциальные отдаленные радиационно-индуцированные последствия для здоровья174	
4.4.3	Последствия облучения у детей	175
4.4.4	Последствия для здоровья от пренатального облучения	176
4.4.5	Психологические последствия.....	177
4.5.	РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ НЕЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ БИОТЫ.....	179
4.6.	ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ	181
5.	ПОСЛЕАВАРИЙНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ.....	185
5.1.	РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ ТЕРРИТОРИЙ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ.....	185
5.1.1.	Создание нормативно-правовой базы	186
5.1.2.	Принятая стратегия реабилитации	188
5.1.3.	Ход реабилитации	189
5.2.	СТАБИЛИЗАЦИЯ СИТУАЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ И ПОДГОТОВКА К ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	193
5.2.1.	Стратегический план	194
5.2.2.	Подготовка к выводу из эксплуатации	195
5.2.3.	Обращение с загрязненной водой.....	196
5.2.4.	Извлечение отработавшего топлива и обломков топлива.....	199
5.2.5.	Конечное состояние вывода площадки из эксплуатации.....	200
5.3.	ОБРАЩЕНИЕ С ЗАГРЯЗНЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ.....	201
5.3.1.	Обращение с отходами	202
5.3.2.	Мероприятия за пределами площадки	202
5.3.3.	Мероприятия на площадке.....	205
5.4.	ВОЗРОЖДЕНИЕ ОБЩИН И УЧАСТИЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН	206
5.4.1.	Социально-экономические последствия.....	207
5.4.2.	Возрождение.....	209
5.4.3.	Участие заинтересованных сторон и связь с ними	209
5.5.	ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ	211
6.	РЕАГИРОВАНИЕ МАГАТЭ НА АВАРИЮ	215
6.1.	ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАГАТЭ	215
6.1.1.	Деятельность на начальном этапе	215
6.1.2.	Миссии МАГАТЭ в Японию	217
6.1.3.	Конференция МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров.....	218
6.1.4.	План действий МАГАТЭ по ядерной безопасности.....	220
6.1.5.	Сотрудничество с префектурой Фукусима.....	221
6.1.6.	Фукусимская конференция по ядерной безопасности на уровне министров.....	222

6.2. СОВЕЩАНИЯ ДОГОВАРИВАЮЩИХСЯ СТОРОН КОНВЕНЦИИ О ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ	223
6.2.1. Внеочередное совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности	223
6.2.2. Шестое Совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности по рассмотрению	224
6.2.3. Дипломатическая конференция и Венское заявление о ядерной безопасности	225
СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ	226
СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ	249
СОВЕЩАНИЯ	261
УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ	263
РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ	264

АВАРИЯ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙТИ"

РЕЗЮМЕ

11 марта 2011 года произошло Великое восточнояпонское землетрясение. Оно было вызвано внезапным выбросом энергии на границе раздела литосферных плит, где Тихоокеанская тектоническая плита резко сдвинулась под Северо-американскую тектоническую плиту. Произошел разрыв части земной коры, согласно оценкам, размером примерно 500 км в длину и 200 км в ширину, который привел к мощному землетрясению магнитудой 9,0 и цунами, обрушившемуся на обширные территории прибрежных районов Японии, включая северо-восточную часть побережья, где некоторые волны достигали высоты свыше десяти метров. Землетрясение и цунами привели к гибели большого числа людей и широкомасштабным разрушениям в Японии. Погибли более 15 000 человек и свыше 6000 получили ранения, и на момент составления настоящего доклада¹ примерно 2500 человек оставались без вести пропавшими. Значительный ущерб был причинен зданиям и объектам инфраструктуры, в частности вдоль северо-восточного побережья Японии.

На атомной электростанции (АЭС) "Фукусима-дайити", эксплуатацию которой осуществляет Токийская электроэнергетическая компания (ТЕПКО), землетрясение повредило линии электроснабжения на площадке, а цунами привело к значительному разрушению эксплуатационной инфраструктуры, а также инфраструктуры, обеспечивающей безопасность на площадке. В совокупности это привело к потере внешнего энергоснабжения и выходу из строя источников электроснабжения на площадке. Это, в свою очередь, привело к утрате функции охлаждения на трех работавших реакторных блоках², а также в бассейнах выдержки отработавшего топлива. Четыре других атомных электростанций³, располагающихся вдоль побережья, также пострадали в различной степени от землетрясения и цунами. Однако все работавшие реакторные блоки этих станций были безопасно остановлены.

Несмотря на усилия операторов АЭС "Фукусима-дайити", направленные на сохранение контроля над станцией, произошел перегрев активной зоны реакторов энергоблоков 1-3, ядерное топливо расплавилось и целостность трех защитных оболочек была нарушена. Из реакторных корпусов высокого давления произошли выбросы водорода, которые привели к взрывам внутри реакторных зданий блоков 1, 3 и 4, и в результате были разрушены конструкции и оборудование и пострадал персонал станции. Радионуклиды со станции поступили в атмосферу и затем осаждались на поверхности суши и океана. Кроме того, произошли прямые сбросы в море.

Население, проживающее на территориях в радиусе 20 км от площадки станции и в других районах, было эвакуировано, и жителям в радиусе 20-30 км было

¹ Март 2015 года. В некоторых случаях имелась информация за период по июнь 2015 года, и она по мере возможности включалась в доклад.

² Из шести энергоблоков АЭС "Фукусима-дайити" на момент аварии действующими были блоки 1, 2 и 3; блоки 4, 5 и 6 находились в состоянии планового останова.

³ АЭС "Хигасидори", "Онагава", "Фукусима-дайни" и "Токай-дайни".

рекомендовано оставаться в укрытых местах, а затем им была предложена добровольная эвакуация. Были введены ограничения в отношении распределения, а также потребления продовольствия и потребления питьевой воды. На момент составления настоящего доклада многие люди по-прежнему жили за пределами районов, из которых они были эвакуированы.

После стабилизации состояния реакторов АЭС "Фукусима-дайити"⁴ начались работы по подготовке к их окончательному выводу из эксплуатации. В 2011 году были начаты работы по восстановлению районов, пострадавших в результате аварии, включая реабилитационные работы, а также возрождение общин и восстановление инфраструктуры.

Сразу после возникновения аварии МАГАТЭ приступило к выполнению своей роли в реагировании на аварийные ситуации. Оно активировало свою систему по инцидентам и аварийным ситуациям, приступило к координации межучрежденческого реагирования и проведению серий брифингов с государствами-членами и средствами массовой информации.

Генеральный директор сразу же посетил Японию, и МАГАТЭ направило несколько миссий в Японию, в том числе международную миссию по установлению фактов и миссии по экспертному рассмотрению вопросов вывода из эксплуатации и реабилитации.

МАГАТЭ организовало проведение в июне 2011 года международной Конференции по ядерной безопасности на уровне министров, которая завершилась принятием Заявления министров по вопросам ядерной безопасности. В этом заявлении был изложен ряд мер, направленных на дальнейшее повышение ядерной безопасности, аварийной готовности и радиационной защиты людей и окружающей среды во всем мире. В нем также было выражено твердое обязательство государств-членов обеспечить принятие таких мер.

В Заявлении министров Генеральному директору было также предложено в консультациях с государствами-членами подготовить проект "Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности" (Плана действий)⁵. План действий, в котором была определена программа работы по укреплению глобальной системы ядерной безопасности, был единогласно одобрен в 2011 году 55-й очередной сессией Генеральной конференции.

МАГАТЭ также осуществило совместные мероприятия на АЭС "Фукусима-дайити" в рамках меморандума о сотрудничестве между МАГАТЭ и префектурой Фукусима.

⁴ 16 декабря 2011 года Бюро по комплексному реагированию правительства и ТЕПКО объявило о том, что на энергоблоках 1-3 были достигнуты условия для "состояния холодного останова". Определение термина "состояние холодного останова" было дано правительством Японии специально для АЭС "Фукусима-дайити". Оно отличается от определения термина, принятого МАГАТЭ и другими организациями.

⁵ В Плате действий намечена программа работы по укреплению глобальной системы ядерной безопасности. План действий предусматривает 12 основных действий, касающихся: оценки безопасности; экспертных рассмотрений МАГАТЭ; аварийной готовности и реагирования; национальных регулирующих органов; эксплуатирующих организаций; норм безопасности МАГАТЭ; международно-правовой основы; государств-членов, планирующих приступить к реализации ядерно-энергетической программы; создания соответствующих потенциалов; защиты людей и окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений; коммуникации и распространения информации; научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Дополнительные сведения см. в разделе 6.1.

Этот меморандум обеспечил основу для сотрудничества в области радиационного мониторинга и реабилитации, здоровья человека и готовности и реагирования в случае аварийных ситуаций.

МАГАТЭ также содействовало проведению и обеспечило организацию ряда международных конференций и совещаний государств-членов и договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности. Многие из этих мероприятий были осуществлены в соответствии с Планом действий.

После аварии на АЭС "Фукусима-дайити" государствами – членами МАГАТЭ и международными организациями и государствами – участниками международных договорно-правовых документов по ядерной безопасности, в частности Конвенции о ядерной безопасности, были проведены многочисленные исследования с анализом ее причин и последствий, а также детально рассмотрены последствия этой аварии для ядерной безопасности. В августе 2012 года в Вене состоялось внеочередное совещание Договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности, целью которого было рассмотрение и обсуждение первоначальных анализов аварии и эффективности Конвенции.

На 6-м совещании по рассмотрению в марте-апреле 2014 года договаривающиеся стороны Конвенции о ядерной безопасности представили доклады о реализации мер повышения безопасности, включая: внедрение дополнительных средств, позволяющих выдерживать длительную потерю энергоснабжения и теплоносителя; увеличение мощности систем электропитания в целях повышения надежности; проведение повторных оценок опасности характерных для данной площадки внешних природных явлений, а также событий, затрагивающих несколько энергоблоков; совершенствование центров аварийного управления на площадке и за пределами площадки в целях защиты от экстремальных внешних событий и радиационных опасностей; укрепление мер по сохранению целостности защитной оболочки; доработку положений и руководящих принципов управления тяжелыми авариями.

В феврале 2015 года договаривающиеся стороны Конвенции о ядерной безопасности на Дипломатической конференции, созванной Генеральным директором МАГАТЭ, приняли Венское заявление о ядерной безопасности, включающее принципы обеспечения достижения третьей цели Конвенции, т.е. предотвращения аварий с радиологическими последствиями и смягчения таких последствий в случае их возникновения.

ДОКЛАД ОБ АВАРИИ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙИТИ"

На Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 2012 года Генеральный директор объявил, что МАГАТЭ подготовит доклад об аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Позднее он подтвердил, что доклад даст "авторитетную, фактологическую и сбалансированную оценку с рассмотрением причин и последствий аварии, а также извлеченных уроков".

Доклад об аварии на АЭС "Фукусима-дайити" является результатом широкомасштабных международных совместных усилий пяти рабочих групп с участием примерно 180 экспертов из 42 государств-членов (имеющих и не имеющих ядерно-энергетические программы) и ряда международных органов. Это обеспечило использование широкого спектра знаний и опыта. Международная техническая

консультативная группа предоставляла консультации по техническим и научным вопросам. Для обеспечения руководства, а также координации и рецензирования доклада была создана Центральная группа в составе старших руководителей МАГАТЭ. Были также предусмотрены дополнительные механизмы внутреннего и внешнего контроля.

Настоящий доклад Генерального директора состоит из резюме и итогового доклада. Он основан на пяти детальных технических томах, подготовленных международными экспертами, и вкладе многих экспертов и международных органов, участвовавших в данной работе. Доклад содержит описание аварии, причин аварии, ее развития и последствий на основе оценки данных и информации из многочисленных источников, ставших доступными в период времени по март 2015 года, включая результаты работы, выполненной в ходе осуществления Плана действий, а также включает изложение основных замечаний и извлеченных уроков. Значительный объем данных был предоставлен правительством Японии и другими японскими организациями.

СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Уязвимость станции к воздействию внешних событий

Землетрясение, произошедшее 11 марта 2011 года, вызвало сейсмические колебания грунта, которые воздействовали на конструкции, системы и элементы станции. За ним последовала серия волн цунами, одна из которых затопила площадку. Амплитуда зарегистрированных колебаний грунта и высота волн цунами значительно превысили предполагаемые масштабы опасностей, из которых исходили при первоначальном проектировании станции. Несколько энергоблоков АЭС "Фукусима-дайити" подверглись воздействию землетрясения и связанных с ним волн.

Сейсмическая опасность и высота волн цунами, постулированные при первоначальном проектировании, оценивались главным образом на основе исторических сейсмических данных и информации о недавних цунами в Японии. В этой первоначальной оценке недостаточно учитывались геотектонические критерии, и повторная оценка с использованием таких критериев не проводилась.

До этого землетрясения Японский желоб классифицировался как зона субдукции, характеризующая частыми землетрясениями, относящимися к классу с магнитудой 8; землетрясение магнитудой 9,0 у побережья префектуры Фукусима не рассматривалось японскими учеными как вероятное. Однако за последние несколько десятилетий аналогичные или еще большие магнитуды были зарегистрированы в различных районах со сходными тектоническими условиями.

Свидетельств того, что сейсмические колебания грунта, вызванные землетрясением 11 марта 2011 года, оказали воздействие на основные функции обеспечения безопасности станции, не обнаружено. Это объясняется консервативным подходом к учету землетрясений при проектировании и строительстве АЭС в Японии, благодаря которому станция имела достаточные запасы безопасности. Вместе с тем первоначальные проектные решения не обеспечивали аналогичных запасов безопасности на случай экстремальных, приводящих к затоплению внешних явлений, таких как цунами.

Систематические и всесторонние переоценки уязвимости АЭС "Фукусима-дайити" к воздействию внешних опасностей в течение ее эксплуатации не проводились. На момент аварии в Японии не существовало регулирующих требований в отношении таких переоценок, а в действовавших регулирующих положениях и руководящих принципах надлежащим образом не учитывался соответствующий национальный и международный опыт эксплуатации. Регулирующие руководящие принципы в Японии, касающиеся методов учета последствий связанных с землетрясениями событий, таких как цунами, носили общий характер, были краткими и не содержали конкретных критериев или подробных методических рекомендаций.

До аварии оператор, используя согласованные методологии, разработанные в Японии в 2002 году, провел несколько переоценок уровней затопления в случае экстремальных цунами, в результате которых были получены значения, превышавшие первоначальные оценки, которые применялись в проектных основах. С учетом полученных результатов были приняты определенные компенсирующие меры, однако на момент аварии они оказались недостаточными.

Кроме того, оператором до аварии был проведен ряд пробных расчетов с применением моделей или методологий определения источника волн, которые выходили за рамки согласованной методологии. Так, в пробных расчетах с применением модели источника, предложенной японским Центральным органом по содействию в сейсмологических исследованиях в 2002 году, при проведении которых использовалась самая последняя информация и в сценарии был принят другой подход, рассматривались значительно более мощные цунами, чем при первоначальном проектировании и в оценках, сделанных в ходе предыдущих переоценок. На момент аварии проводились и другие оценки, но при этом никаких дополнительных компенсирующих мер принято не было. Полученные в результате оценок значения были аналогичны уровням затопления, зарегистрированным в марте 2011 года.

В мировом опыте эксплуатации известны случаи, когда опасные природные явления по своей силе превосходили опасности, учтенные в проектных основах АЭС. В частности, опыт, связанный с некоторыми такими событиями, свидетельствовал об уязвимости систем безопасности к затоплениям.

- **Оценка опасных природных явлений должна быть достаточно консервативной. Учет главным образом исторических данных при разработке проектных основ для АЭС является недостаточным для характеристики рисков, связанных с экстремальными опасными природными явлениями. Даже в случаях, когда имеются всеобъемлющие данные, в прогнозировании опасных природных явлений сохраняются значительные неопределенности из-за относительно коротких периодов наблюдения.**
- **Необходимо на периодической основе проводить переоценку безопасности АЭС с целью учета новых знаний и безотлагательно осуществлять требующиеся корректирующие или компенсирующие меры.**

- При проведении оценки опасных природных явлений необходимо учитывать возможность комбинации одновременно или последовательно происходящих событий и их совокупное воздействие на АЭС. В оценке опасных природных явлений должно учитываться также их воздействие на несколько энергоблоков, размещенных на АЭС.
- В программы учета опыта эксплуатации необходимо включать данные об опыте, накопленные как на национальном, так и международном уровнях. Необходимо оперативно осуществлять меры по повышению безопасности на базе программ учета опыта эксплуатации. Использование опыта эксплуатации должно проходить периодическую независимую оценку.

Применение концепции глубокоэшелонированной защиты

Глубокоэшелонированная защита — это концепция, которая применяется для обеспечения безопасности ядерных установок с начала развития ядерной энергетики. Ее цель заключается в том, чтобы компенсировать человеческие ошибки и отказы оборудования посредством введения нескольких уровней защиты. Защита обеспечивается несколькими независимыми средствами на каждом уровне.

В проекте АЭС "Фукусима-дайити" были предусмотрены оборудование и системы для первых трех уровней глубокоэшелонированной защиты: 1) оборудование, предназначенное для обеспечения надежной нормальной эксплуатации; 2) оборудование, предназначенное для возвращения станции в безопасное состояние после аномального события; 3) системы безопасности, предназначенные для управления аварийными условиями. Проектные основы были определены с учетом ряда постулированных опасностей, однако внешние опасности, такие как цунами, в полной мере учтены не были. Поэтому затопление в результате цунами поразило одновременно первые три уровня глубокоэшелонированной защиты и привело к отказам по общей причине оборудования и систем на каждом из трех уровней.

В результате отказов по общей причине нескольких систем безопасности на станции возникли условия, не предусмотренные в проекте. Таким образом, средства защиты, предназначенные для обеспечения четвертого уровня глубокоэшелонированной защиты, т.е. предотвращения развития тяжелых аварий и смягчения их последствий, оказались в состоянии эксплуатационной неготовности для восстановления функции охлаждения реактора и сохранения целостности защитной оболочки. Полная потеря электроснабжения, отсутствие информации о соответствующих параметрах безопасности в результате эксплуатационной неготовности требующихся контрольно-измерительных приборов, отказ устройств управления и неадекватность технологического регламента эксплуатации обусловили невозможность остановки развития аварии и ограничения ее последствий.

Отсутствие достаточных средств защиты на каждом уровне глубокоэшелонированной защиты стало причиной серьезного повреждения реакторов энергоблоков 1, 2 и 3 и значительных радиоактивных выбросов из этих энергоблоков.

- Концепция глубокоэшелонированной защиты остается в силе, однако ее реализация должна быть укреплена на всех уровнях путем надлежащего осуществления принципов независимости, резервирования, неодинаковости и обеспечения защиты от внутренних и внешних опасностей. Необходимо сосредоточить внимание не только на предотвращении аварий, но также и на совершенствовании мер по смягчению их последствий.
- Необходимо, чтобы системы контроля и управления сохраняли работоспособность во время запроектных аварий, обеспечивая мониторинг важнейших параметров безопасности станции и облегчая эксплуатацию станции.

Оценка отказа выполнять фундаментальные функции безопасности

Тремя фундаментальными функциями безопасности, важными для обеспечения безопасности, являются: управление реактивностью ядерного топлива; отвод тепла из активной зоны реактора и из бассейна выдержки отработавшего топлива; локализация радиоактивных материалов. После землетрясения первая фундаментальная функция безопасности – управление реактивностью – оставалась действующей на всех шести энергоблоках АЭС "Фукусима-дайити".

Действие второй фундаментальной функции безопасности – отвода тепла из активной зоны реактора и из бассейна выдержки отработавшего топлива – не могло быть обеспечено, так как операторы лишились почти всех средств управления реакторами энергоблоков 1, 2 и 3 и бассейнами выдержки отработавшего топлива в результате выхода из строя большинства электрических систем переменного и постоянного тока. Утрата второй фундаментальной функции безопасности явилась отчасти следствием невозможности осуществить альтернативный впрыск воды вследствие задержек в осуществлении операций сброса давления в корпусах реакторов. Потеря охлаждения привела к перегреву и расплавлению топлива в реакторах.

Функция локализации была утрачена в результате потери электроснабжения переменного и постоянного тока, которая привела к неработоспособности систем охлаждения и осложнила операторам использование системы вентилирования защитной оболочки. Вентилирование защитной оболочки было необходимо для сброса давления и предотвращения ее отказа. Операторы смогли осуществить вентилирование на энергоблоках 1 и 3 с целью снижения давления в первичной защитной оболочке. Это, однако, привело к радиоактивным выбросам в окружающую среду. Даже несмотря на то, что каналы вентилирования защитных оболочек энергоблоков 1 и 3 были открыты, в конечном итоге произошел отказ первичных защитных оболочек энергоблоков 1 и 3. В случае энергоблока 2 вентилирование защитной оболочки не было успешным, и произошел отказ этой защитной оболочки, который в результате привел к радиоактивным выбросам.

- Для отвода остаточного тепла должны быть предусмотрены стабильные и надежные системы охлаждения, способные функционировать как в проектных, так и в запроектных условиях.
- Необходимо обеспечивать действие надежной функции локализации в условиях запроектных аварий в целях предотвращения значительных выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду.

Оценка запроектных аварий и управления аварией

В ходе анализа безопасности, проведенного в процессе лицензирования АЭС "Фукусима-дайити" и во время ее эксплуатации, не в полной мере была учтена возможность развития сложной последовательности событий, могущих привести к серьезному повреждению активной зоны реактора. В частности, в рамках анализа безопасности не были выявлены уязвимость станции к затоплению и слабые места в эксплуатационных процедурах и руководствах по управлению аварией. В вероятностных оценках безопасности не была рассмотрена возможность внутреннего затопления, а допущения относительно эффективности действий человека при управлении аварией были оптимистическими. Кроме того, регулирующим органом были введены лишь ограниченные требования в отношении учета операторами возможности тяжелых аварий.

Операторы оказались не полностью подготовленными к отказу энергоснабжения на нескольких энергоблоках и выходу из строя охлаждения в результате воздействия цунами. Хотя компанией ТЕРКО были разработаны руководства по управлению тяжелыми авариями, они не охватывали эту маловероятную комбинацию событий. Поэтому операторы не получили надлежащей профессиональной подготовки и не участвовали в соответствующих учениях по отработке действий при тяжелых авариях, а имевшееся у них оборудование не было адекватным для ухудшившихся условий на станции.

В сентябре 2012 года было создано Управление по ядерному регулированию (УЯР). Оно разработало новые положения для атомных электростанций по защите населения и окружающей среды, которые вступили в силу в 2013 году. В этих положениях предусмотрено усиление контрмер для предотвращения одновременной утраты всех функций безопасности по общим причинам, включая переоценку воздействия внешних событий, таких как землетрясения и цунами. Были также введены новые контрмеры, которые должны приниматься при тяжелых авариях в случае повреждения активной зоны, повреждения защитной оболочки и рассеяния радиоактивного материала.

- Необходимо проводить всеобъемлющие вероятностные и детерминированные анализы безопасности для подтверждения способности станции выдерживать соответствующие запроектные аварии и для обеспечения высокой степени уверенности в надежности проекта станции.
- Положения по управлению авариями должны быть всеобъемлющими, тщательно разработанными и актуальными. Они должны разрабатываться на базе всеобъемлющего набора исходных событий и условий на станции и учитывать также возможность возникновения аварий на нескольких энергоблоках многоблочной станции.

- **Подготовка кадров, учения и тренировки должны включать отработку действия в условиях постулируемой тяжелой аварии в целях обеспечения максимально полной профессиональной подготовки операторов. Такая подготовка кадров должна включать имитационное использование реального оборудования, применяемого при управлении тяжелой аварией.**

Оценка эффективности регулирующих органов

Регулирование ядерной безопасности в Японии на момент аварии осуществлялось несколькими организациями, наделенными различными функциями и обязанностями и связанными между собой сложными взаимоотношениями. Полностью не было ясно, на какие организации возложены ответственность и полномочия по выпуску обязательных для исполнения инструкций, регламентирующих безотлагательное реагирование на проблемы обеспечения безопасности.

Программа регулирующих инспекций была жестко структурирована, что снижало возможности регулирующего органа проводить проверки безопасности в надлежащее время и выявлять новые потенциальные проблемы обеспечения безопасности.

Регулирующие положения, руководства и процедуры, действовавшие на момент аварии, не соответствовали в полной мере международной практике в некоторых ключевых областях, и прежде всего в том, что касается периодических рассмотрений безопасности, повторных оценок опасностей, управления тяжелыми авариями и культуры безопасности.

- **Для обеспечения эффективного регулирующего надзора за безопасностью ядерных установок необходимо, чтобы регулирующий орган был независимым и обладал юридическими полномочиями, технической компетенцией и сильной культурой безопасности.**

Оценка человеческих и организационных факторов

До аварии базовая исходная предпосылка в Японии сводилась к тому, что конструкция АЭС и предусматриваемые меры безопасности являются достаточно надежными и позволяют станциям выдерживать воздействие маловероятных внешних событий с серьезными последствиями.

Вследствие этой базовой предпосылки о безопасности АЭС в Японии в организациях и у работающих в них сотрудников сформировалась тенденция не подвергать сомнению уровень безопасности. Изначально укоренившееся среди заинтересованных сторон представление о надежности технических проектов АЭС привело к ситуации, когда оперативное внедрение усовершенствований в области безопасности не обеспечивалось.

Авария на АЭС "Фукусима-дайити" показала, что в целях более эффективного выявления уязвимых мест на АЭС необходимо принять комплексный подход, учитывающий сложные линии взаимодействия между людьми, организациями и технологиями.

- В целях содействия развитию и укрепления культуры безопасности необходимо, чтобы как отдельные лица, так и организации постоянно критически оценивали или пересматривали сложившиеся предпосылки относительно ядерной безопасности и последствия решений и действий, могущих повлиять на ядерную безопасность.
- Системный подход к безопасности должен учитывать взаимодействие между человеческими, организационными и техническими факторами. Этот подход должен применяться на протяжении всего жизненного цикла ядерных установок.

АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ

Первоначальное реагирование на аварию в Японии

На момент аварии на национальном и местном уровнях существовали отдельные механизмы реагирования на ядерные аварийные ситуации и стихийные бедствия. Скоординированных механизмов реагирования на одновременно возникающие ядерную аварийную ситуацию и стихийное бедствие предусмотрено не было.

В рамках механизмов реагирования на ядерные аварийные ситуации предусматривалось, что после обнаружения на АЭС соответствующих неблагоприятных условий (например, потери всех источников питания переменного тока более чем на пять минут или утраты всех функций охлаждения реактора) станция должна оповестить об этом местные и национальные органы власти. После этого национальное правительство оценивает ситуацию и определяет, следует ли отнести ее к категории "ядерной аварийной ситуации"⁶. Если ситуация классифицируется как ядерная аварийная ситуация, об этом объявляется на национальном уровне, и решения о необходимых защитных мерах принимаются исходя из прогнозов доз.

На основе доклада, полученного от АЭС "Фукусима-дайти", вечером 11 марта премьер-министр объявил ядерную аварийную ситуацию и издал распоряжения о мерах по защите населения. Руководство реагированием на национальном уровне осуществляли премьер-министр и старшие должностные лица канцелярии премьер-министра в Токио.

Последствия землетрясения и цунами и повышенные уровни радиации чрезвычайно осложнили реагирование на площадке. Выход из строя источников питания переменного и постоянного тока, наличие большого количества мусора, затрудняющего осуществление мер реагирования на площадке, афтершоки, предупреждения об опасности новых цунами и повышенные уровни радиации обусловили невозможность оперативного принятия многих мер по смягчению последствий. Решения, касающиеся мер по смягчению последствий на площадке, принимались при непосредственном участии национального правительства.

⁶ Закон о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям, Закон №156 1999 года с изменениями, внесенными Законом №118 2006 года, далее именуемый Законом о ядерных аварийных ситуациях.

Использование кризисного центра, расположенного в 5 км от АЭС "Фукусима-дайти", было затруднено из-за серьезного повреждения его инфраструктуры в результате землетрясения и цунами. Через несколько дней потребовалась эвакуация кризисного центра ввиду неблагоприятной радиологической обстановки.

- При подготовке к реагированию на возможную ядерную аварийную ситуацию необходимо учитывать ситуации, в которых может произойти серьезное повреждение ядерного топлива в активной зоне реактора или отработавшего топлива на площадке, в том числе аварийные ситуации с выходом из строя нескольких энергоблоков на многоблочной станции, которые могут возникать одновременно со стихийным бедствием.
- В системе управления аварийными ситуациями должны быть четко определены функции и обязанности эксплуатирующей организации и местных и национальных органов при реагировании на ядерную аварийную ситуацию. Эта система должна регулярно тестироваться в ходе учений, включая взаимодействие между эксплуатирующей организацией и компетентными органами.

Защита аварийных работников

На момент аварии в национальном законодательстве и руководящих документах в Японии меры по защите аварийных работников были предусмотрены, но их описание было общим и недостаточно детальным.

Для осуществления аварийного реагирования потребовалось большое число аварийных работников разных специальностей. Аварийные работники представляли целый ряд организаций и государственных учреждений. Однако механизмов привлечения к деятельности по реагированию аварийных работников, не назначенных для этой работы до аварии, предусмотрено не было.

Применение механизмов, обеспечивающих защиту работников от радиационного облучения, было серьезно затруднено из-за возникновения экстремальных условий на площадке. Для поддержания приемлемого уровня защиты аварийных работников на площадке был предпринят ряд незапланированных мер. Предел дозы для аварийных работников, выполняющих определенные задачи, был временно повышен в целях продолжения осуществления необходимых мер по смягчению последствий. Медицинское обслуживание аварийных работников при этом было серьезно дезорганизовано, и для оказания аварийным работникам необходимых услуг на площадке потребовались большие дополнительные усилия.

Лица из населения, называемые "помощниками", добровольно предложили свою помощь в осуществлении аварийного реагирования за пределами площадки. Национальные органы власти издали инструкцию, указывающую виды работ, которые могли выполнять помощники, и меры, которые следовало принимать для их защиты.

- Аварийные работники должны назначаться, и поручаемые им обязанности должны быть четко определены независимо от того, в какой организации они работают; они должны иметь надлежащую профессиональную подготовку, и при этом должна обеспечиваться их надлежащая защита в

аварийной ситуации. Необходимо предусматривать механизмы привлечения к участию в реагировании аварийных работников, не назначенных для этой работы заранее до возникновения аварийной ситуации, а также добровольных помощников, желающих оказать помощь в аварийном реагировании.

Защита населения

В соответствии с национальной системой мер, принимаемых в чрезвычайных ситуациях, решения по защитным мерам основывались на оценках прогнозируемой дозы для населения, рассчитываемой на момент принятия решения с помощью модели для прогноза доз – Системы прогнозирования информации о средовой аварийной дозе (СПИДИ). Эти меры не предусматривали, что решения по неотложным защитным мерам для населения будут приниматься на основе заранее определенных конкретных условий на станции. Однако при реагировании на данную аварию первоначальные решения по защитным мерам принимались на основе условий на станции. Оценки параметров источника выброса невозможно было использовать в качестве данных, вводимых в СПИДИ, вследствие потери электроснабжения на площадке.

Процедуры, применявшиеся до аварии, включали критерии для укрытия, эвакуации и иодного блокирования щитовидной железы, основанные на прогнозируемой дозе, а не на измеряемых величинах. Критерии для переселения отсутствовали.

Защитные меры для населения во время аварии включали: эвакуацию, укрытие, иодное блокирование щитовидной железы (путем введения стабильного иода), ограничения в отношении потребления пищевых продуктов и питьевой воды, переселение и распространение информации.

Эвакуация людей из района АЭС "Фукусима-дайити" началась вечером 11 мая 2011 года, и зона эвакуации постепенно расширялась в радиусе от 2 км до 3 км и затем 10 км от станции. К вечеру 12 марта 2011 года она была увеличена до 20 км. Таким же образом расширялась и зона, в которой население было проинструктировано использовать укрытие, – от 3-10 км от станции вскоре после аварии до 20-30 км к 15 марта. В радиусе 20-30 км от АЭС населению было указано находиться в укрытии вплоть до 25 марта, когда правительство страны рекомендовало добровольную эвакуацию. Введение стабильного иода (иодная профилактика) с целью иодного блокирования щитовидной железы не осуществлялось единообразно, главным образом из-за отсутствия детальной регламентации.

Имели место трудности с эвакуацией вследствие разрушения инфраструктуры в результате землетрясения и цунами и связанных с этим проблем коммуникационно-транспортного характера. Значительные трудности возникли также с эвакуацией больных из больниц и домов престарелых в зоне радиусом 20 км.

22 апреля существующая 20-километровая зона эвакуации была объявлена "районом ограниченного доступа", возвращение в который было взято под контроль. За пределами "района ограниченного доступа" были также определены "районы плановой эвакуации" – в местах, где могли быть превышены конкретные дозовые критерии.

При обнаружении радионуклидов в окружающей среде принимались решения в отношении принятия защитных мер в сельскохозяйственных районах и введения

ограничений на потребление и распределение пищевых продуктов и потребление питьевой воды. Кроме того, была введена система сертификации для пищевых и других продуктов, предназначенных для экспорта.

В ходе аварийной ситуации для информирования общественности и реагирования на вопросы, вызывающие беспокойство у населения, использовались различные средства, включая телевидение, радио, интернет и "горячие" телефонные линии. Информация, получаемая от населения в порядке обратной связи через "горячие" линии и консультационные службы, позволяла выявлять потребности в легко воспринимаемой информации и вспомогательных материалах.

- Должны предусматриваться механизмы, позволяющие принимать решения по вопросам осуществления срочных мер по защите населения, выработанных заранее с учетом определенных условий на станции.
- Должны предусматриваться механизмы, позволяющие при реагировании на развитие условий на станции или результаты мониторинга расширять срочные защитные меры или вносить в них изменения. Должны предусматриваться также механизмы, позволяющие приступать к принятию ранних защитных мер на основании результатов мониторинга.
- Должны предусматриваться механизмы, гарантирующие, что в случае ядерной аварийной ситуации защитные меры и другие меры реагирования будут приносить больше позитивных результатов, чем негативных. Для обеспечения подобного баланса необходимо предусматривать использование комплексного подхода к принятию решений.
- Должны предусматриваться механизмы оказания содействия лицам, принимающим решения, населению в целом и другим сторонам (например, медицинским работникам) в получении правильного представления о радиологических опасностях для здоровья, возникающих в случае ядерной аварийной ситуации, с тем чтобы решения по защитным мерам принимались обоснованно. Должны предусматриваться также механизмы, позволяющие разъяснять вопросы, вызывающие беспокойство у населения, на местном, национальном и международном уровнях.

Переход от аварийной фазы к этапу восстановительных работ и анализу реагирования

Конкретные стратегии, руководящие принципы, критерии и механизмы, необходимые для перехода от аварийной фазы к этапу восстановительных работ, до аварии на АЭС "Фукусима-дайити" не разрабатывались и были подготовлены лишь после нее. При разработке этих механизмов компетентные органы Японии использовали последние рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

Был проведен анализ аварии и аварийного реагирования, и результаты этого анализа были представлены в виде докладов, включая доклады, выпущенные правительством Японии, эксплуатирующей организацией (ТЕПКО) и двумя комитетами по расследованию, сформированными соответственно правительством и парламентом.

После аварии национальные механизмы обеспечения аварийной готовности и реагирования в Японии были во многих случаях пересмотрены с целью учета в них выводов указанных аналитических исследований, а также соответствующих норм безопасности МАГАТЭ в области аварийной готовности и реагирования.

- **На стадии обеспечения готовности должны быть разработаны механизмы завершения защитных мер и других мер реагирования и перехода к этапу восстановительных работ.**
- **Своевременное проведение анализа аварийной ситуации и реагирования на нее, извлечение уроков и определение возможностей для совершенствования позволяют повысить эффективность противоаварийных механизмов.**

Реагирование в рамках международной системы готовности и реагирования в случае аварийных ситуаций

На момент аварии в мире действовала развитая международная система готовности и реагирования в случае аварийных ситуаций, включающая международно-правовые документы, нормы безопасности МАГАТЭ и механизмы оперативного взаимодействия⁷.

У МАГАТЭ на момент аварии было четыре функции по реагированию на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию: 1) оповещение и обмен официальной информацией через официально назначенные пункты связи; 2) предоставление своевременной, ясной и понятной информации; 3) предоставление по запросу и содействие оказанию международной помощи; 4) координация межучрежденческого реагирования.

В международном реагировании на аварию участвовали многие государства и ряд международных организаций.

МАГАТЭ поддерживало связь с официальным пунктом связи в Японии, предоставляло информацию об аварии по мере ее поступления и обеспечивало информированность по соответствующим вопросам государств, соответствующих международных организаций и населения. На начальной стадии аварийного реагирования коммуникация с официальным пунктом связи в Японии была затруднена. После посещения Японии Генеральным директором МАГАТЭ и размещения в Токио сотрудников по связи вслед за этим коммуникация между МАГАТЭ и пунктом связи улучшилась. Кроме того, МАГАТЭ направляло в Японию миссии экспертов и координировало межучрежденческое реагирование.

В связи с аварией разные государства⁸ принимали или рекомендовали своим гражданам, находившимся в Японии, различавшиеся по своему содержанию защитные

⁷ Основными международно-правовыми документами являются Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. Действующими международными нормами безопасности в области аварийной готовности и реагирования на момент аварии были документы Серии норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-2 и № GS-G-2.1. Документ Серии норм безопасности №115 также включал элементы, относящиеся к обеспечению аварийной готовности и реагирования. Международные механизмы оперативного взаимодействия основывались на Техническом пособии по оповещению и оказанию помощи в аварийных ситуациях (ENATOM), Сети реагирования и оказания помощи МАГАТЭ (РАНЕТ) и Плане международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями (Совместном плане).

меры. Различия в этих мерах, как правило, должным образом не разъяснялись общественности и в ряде случаев стали причиной недоразумений и беспокойства.

Соответствующие международные организации, входящие в состав Межучрежденческого комитета по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям, регулярно обменивались информацией. Кроме того, публиковались совместные пресс-релизы.

- **Необходимо повысить эффективность реализации международных договоренностей об оповещении и оказании помощи.**
- **Необходимо улучшить процесс консультаций и обмен между государствами информацией относительно защитных мер и других мер реагирования.**

РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Радиоактивность в окружающей среде

В результате аварии произошел выброс радионуклидов в окружающую среду. Оценка выбросов проводилась многими организациями с применением различных моделей. Большая часть выбросов в атмосферу подверглась переносу преобладающими ветрами с рассеиванием и осаждением в северной части Тихого океана. Неопределенности в оценках количества и состава выбросов радиоактивных веществ было сложно устранить по ряду причин, в том числе из-за отсутствия данных мониторинга осаждения атмосферных выбросов на поверхность океана.

Изменения направления ветра привели к тому, что на суше произошло осаждение относительно небольшой части атмосферных выбросов, в основном в северо-западном направлении от АЭС "Фукусима-дайти". Наличие и активность осадений радионуклидов в земной среде контролировались путем мониторинга и характеристики. Измеренные уровни активности радионуклидов снижаются с течением времени вследствие процессов физического распада, переноса в окружающей среде, а также мероприятий по очистке.

Помимо радионуклидов, поступавших в океан в результате атмосферного осаждения, происходили жидкие выбросы и сбросы с площадки АЭС "Фукусима-дайти" непосредственно в море. Точное перемещение радионуклидов в океане сложно оценивать только путем измерений, и для оценки рассеивания радионуклидов в океане был использован ряд моделей их переноса в океане.

Высвобожденные радионуклиды, такие как ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , были обнаружены в питьевой воде, продовольствии и некоторых непродовольственных продуктах. В рамках реагирования на аварию власти Японии ввели ограничения с целью не допустить потребления и использования этих продуктов.

⁸ Главную ответственность за обеспечение готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, а также за охрану жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды несет государство.

- В случае аварийных выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду необходимо оперативно проводить количественную оценку и характеризацию объема и состава выброса. Если выбросы имеют значительные размеры, должна приниматься комплексная и скоординированная программа долгосрочного мониторинга окружающей среды в целях определения характера и масштабов радиологического воздействия на окружающую среду на местном, региональном и глобальном уровнях.

Защита людей от воздействия излучения

После аварии власти Японии применили консервативные референтные уровни дозы, указанные в последних рекомендациях МКРЗ⁹. Реализация некоторых защитных мер и действий оказалась сложной задачей для исполнительных органов и тяжелым испытанием для пострадавших.

В более долгосрочном плане в течение послеаварийного периода по окончании аварийной фазы имели место некоторые расхождения между национальными и международными критериями и руководящими принципами, касающимися контроля питьевой воды, пищевых продуктов и непродовольственных потребительских товаров.

- Соответствующие международные органы должны подготовить разъяснения по принципам и критериям радиационной защиты, понятные неспециалистам, чтобы сделать их применение более ясным для руководителей и населения. Поскольку применение некоторых долгосрочных защитных мер нарушает привычный уклад жизни пострадавших, необходимо применять более эффективную коммуникационную стратегию для разъяснения обоснованности таких мер и действий всем заинтересованным сторонам, включая население.
- Принятие консервативных решений в отношении уровней удельной активности и концентрации активности в потребительских товарах, а также активности отложений обусловило введение долгосрочных ограничений и привело к связанным с этим трудностям. В ситуации длительного облучения важное позитивное значение имеет согласованность международных норм, а также обеспечение соответствия национальных норм международным нормам, в особенности в том, что касается питьевой воды, пищевых продуктов, непродовольственных потребительских товаров и активности отложений на суше.

⁹ Международные рекомендации по радиационной защите издаются МКРЗ. Эти рекомендации учитываются при подготовке международных норм безопасности, в том числе норм радиационной защиты (Международных основных норм безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (Основных норм безопасности или ОНБ)), которые были разработаны и приняты несколькими международными организациями и выпущены под эгидой МАГАТЭ. ОНБ используются во всем мире при разработке национальных регулирующих положений по защите населения и охране окружающей среды от потенциальных вредных последствий воздействия ионизирующих излучений. В рекомендациях МКРЗ 2007 года предложены пересмотренные основные принципы радиационной защиты. В них вводятся референтные уровни для стратегий защиты. На момент аварии ОНБ находились в стадии пересмотра, проводившегося, в частности, с целью учета данных рекомендаций.

В краткосрочном плане наиболее значительными факторами облучения населения были: 1) внешнее облучение радионуклидами, находившимися в шлейфе и выпавшими на почву; 2) внутреннее облучение щитовидной железы в результате поступления ^{131}I и внутреннее облучение других органов и тканей главным образом в результате поступления ^{134}Cs и ^{137}Cs . В долгосрочной перспективе важнейшим фактором облучения населения является внешнее облучение в результате осадения ^{137}Cs .

В ранних оценках доз облучения использовались данные мониторинга окружающей среды и модели оценки доз, которые привели к определенному завышению оценок. Для оценок в настоящем докладе были, кроме того, использованы данные индивидуального мониторинга, представленные местными органами, чтобы иметь более надежную информацию о фактически полученных индивидуальных дозах и их распределении. Эти оценки показывают, что полученные жителями эффективные дозы были низкими и в целом сопоставимыми с диапазоном эффективных доз, получаемых в результате воздействия глобальных уровней естественного фонового излучения.

После ядерной аварии, связанной с выбросом ^{131}I и его поступлением в организм детей, особую озабоченность вызывает поглощение этого радионуклида щитовидной железой и последующее получение ею доз облучения. Эквивалентные дозы облучения щитовидной железы, зафиксированные после аварии на АЭС "Фукусима-дайити" у детей, оказались невысокими, поскольку поступление в их организм ^{131}I было ограниченным, отчасти благодаря введенным ограничениям на потребление питьевой воды и пищевых продуктов, включая листовые овощи и свежее молоко. В отношении поступления йода непосредственно после аварии существует неопределенность из-за недостаточного количества надежных данных индивидуального радиационного мониторинга за этот период.

По состоянию на декабрь 2011 года в противоаварийных операциях было задействовано около 23 000 аварийных работников. Эффективные дозы, полученные большинством из них, были ниже пределов профессиональных доз, установленных в Японии. Из этого числа у 174 человек было отмечено превышение первоначального критерия для аварийных работников, а у 6 аварийных работников был превышен пересмотренный критерий эффективной дозы в случае аварии, временно установленный японскими властями. Определенные недостатки отмечены в плане выполнения требований радиационной защиты при профессиональном облучении, в том числе в процессе мониторинга и фиксации доз облучения аварийных работников на раннем этапе, а также в плане обеспеченности средствами защиты и их использования и в организации связанной с этим подготовки.

— Индивидуальный радиационный мониторинг репрезентативных групп населения дает ценнейшую информацию для достоверной оценки доз излучения, и он должен использоваться одновременно с измерениями окружающей среды и соответствующими моделями оценки дозы для определения оценочных уровней доз облучения населения.

- Хотя молочные продукты в Японии не служат основным источником поступления в организм радиоактивного йода, очевидно, что наиболее важным способом, позволяющим ограничить дозу облучения щитовидной железы, особенно у детей, является ограничение потребления свежего молока.
- Необходима надежная система мониторинга и регистрации доз профессионального облучения, получаемого по каждому соответствующему пути, особенно в результате внутреннего облучения, которому могут подвергаться работники в ходе мероприятий по управлению тяжелыми авариями. Важно обеспечивать наличие достаточного количества соответствующих средств индивидуальной защиты, ограничивающих облучение работников во время операций по аварийному реагированию, а также достаточную подготовку работников по применению этих средств.

Последствия для здоровья

Ни у работников, ни у населения не было выявлено каких-либо ранних радиационно-индуцированных последствий для здоровья, которые можно было бы отнести на счет аварии.

Латентный период отдаленных последствий воздействия облучения на здоровье может длиться десятилетия, поэтому не следует исключать возможность того, что наличие таких последствий у подвергшегося облучению населения будет обнаружено через несколько лет после облучения. Вместе с тем, поскольку полученные населением дозы, согласно имеющимся данным, были низкими, выводы настоящего доклада совпадают с заключениями Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), представленными на Генеральной Ассамблее Организации Объединенных Наций¹⁰. НКДАР ООН установил, что "среди жителей, подвергшихся облучению, или их потомков не ожидается сколько-нибудь заметного роста числа осложнений со здоровьем, вызванных воздействием радиации" (взято из раздела о последствиях для здоровья, связанных с "уровнями и воздействием ионизирующего излучения в результате ядерной аварии, вызванной Великим восточнояпонским землетрясением и цунами 2011 года")¹¹. Согласно выводу НКДАР ООН, в группе работников, получивших эффективные дозы 100 мЗв или более, в "будущем ... можно ожидать повышенного риска заболеваемости раком. Однако выявление какого-либо повышенного уровня заболеваемости раком в этой группе не представляется возможным из-за трудностей, связанных с подтверждением столь невысокого уровня заболеваемости по сравнению с обычными колебаниями статистических показателей, характеризующих заболеваемость раком"¹².

Для проверки состояния здоровья пострадавшего от аварии населения было проведено медицинское обследование населения префектуры Фукусима. Цель этого обследования состояла в раннем обнаружении и лечении заболеваний, а также профилактике

¹⁰ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, A/68/46, ООН, Нью-Йорк (2013).

¹¹ Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) также опубликовала в 2013 году оценку риска для здоровья на основе предварительно оцененных доз. Результаты представлены в докладе.

¹² См. сноску 10.

заболеваний, связанных с жизненными условиями. На момент подготовки настоящего доклада в рамках обследования производился масштабный скрининг щитовидной железы у детей. Для этих целей используется сверхчувствительное оборудование, способное выявлять бессимптомные дефекты щитовидной железы у значительного числа обследуемых детей (которые невозможно было бы обнаружить клиническими методами). Маловероятно, что обнаруженные в ходе обследования дефекты связаны с радиационным облучением в результате аварии; скорее всего, это естественные дефекты щитовидной железы, возникающие у детей в этом возрасте. Наиболее вероятным последствием аварии со значительными выбросами радиоактивного йода является рост заболеваемости детей раком щитовидной железы. Поскольку зарегистрированные дозы облучения щитовидной железы в связи с данной аварией в целом были низкими, рост заболеваемости раком щитовидной железы в детском возрасте в результате аварии представляется маловероятным. Вместе с тем оставались неопределенности в отношении эквивалентных доз облучения щитовидной железы, полученных детьми непосредственно после аварии.

Последствия пренатального облучения не наблюдались и не предвидятся, поскольку зарегистрированные дозы значительно ниже порогового значения, при котором такие последствия могут иметь место. Случаев незапланированного прерывания беременности, обусловленных радиологической ситуацией, зарегистрировано не было. Относительно возможности того, что облучение взрослых людей приведет к возникновению наследственных эффектов у их потомков, НКДАР ООН сделал вывод, что в целом, "несмотря на позитивные результаты исследований, основанных на изучении животных, увеличение частоты возникновения наследственных эффектов у населения в настоящее время нельзя однозначно объяснить воздействием облучения"¹³.

У некоторых лиц из населения, пострадавших от ядерной аварии, были зарегистрированы определенные психологические состояния. Поскольку многие из этих людей пострадали не только от аварии, но и в результате совокупного воздействия серьезного землетрясения и разрушительного цунами, затруднительно оценить, в какой степени эти эффекты могут быть связаны только лишь с ядерной аварией. Результаты исследования психического состояния и жизненных условий, проведенного в рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима, свидетельствуют о наличии у некоторых уязвимых групп пострадавшего населения таких связанных с аварией психологических проблем, как состояние повышенной тревоги и посттравматические стрессовые расстройства. По оценкам НКДАР ООН, "самыми серьезными последствиями [аварии] в плане здоровья стали психическое состояние и социальное благополучие, обусловленные тем огромным воздействием, которое оказали землетрясение, цунами и ядерная авария, а также страх и распространение негативных стереотипов, связанных с гипотетической опасностью подвергнуться действию ионизирующего излучения"¹⁴.

— Заинтересованным сторонам необходимо четко разяснять риски радиационного облучения и то, в какой степени последствия для здоровья могут быть обусловлены радиацией, дав ясно понять, что рост числа

¹³ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, A/67/46, ООН, Нью-Йорк (2012).

¹⁴ UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation, UNSCEAR 2013 Report, Vol. I, Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).

последствий для здоровья у населения не всегда объясняется облучением, если уровни облучения сопоставимы с глобальным средним уровнем радиационного фона.

- После ядерной аварии весьма важно и полезно проводить медицинские обследования, но к ним не следует относиться как к эпидемиологическим исследованиям. Результаты таких медицинских обследований призваны дать информацию для оказания медицинской помощи пострадавшему населению.
- Необходимо проводить консультации по радиологической защите в целях смягчения психологических последствий для пострадавшего населения, связанных с радиологическими авариями. Целевая группа МКРЗ рекомендовала вырабатывать "стратегии смягчения серьезных психологических последствий радиологических аварий"¹⁵.
- Фактическая информация о последствиях облучения должна в понятной форме и оперативно доноситься до жителей пострадавших районов с целью расширения их знаний о стратегиях защиты, уменьшения их беспокойства и поддержки их собственных инициатив по обеспечению своей защиты.

Радиологические последствия для нечеловеческой биоты

В период непосредственно после аварии были проведены некоторые ограниченные по объему наблюдения, однако прямых радиационно индуцированных последствий для растений и животных зафиксировано не было. Существующие методологии оценки радиологических последствий имеют свои ограничения, но исходя из прошлого опыта и уровней содержания радионуклидов в окружающей среде, представляется маловероятным, что авария будет иметь сколько-нибудь серьезные радиологические последствия для популяций живых организмов или экосистем.

- Во время аварийной фазы приоритетное внимание должно уделяться защите людей. Дозы, получаемые биотой, невозможно контролировать, и в отдельных случаях они могут быть потенциально высокими. Знания о последствиях радиационного облучения для нечеловеческой биоты должны расширяться за счет совершенствования оценочной методологии и изучения радиационно индуцированных последствий для популяций растений и животных и для экосистем. После крупномасштабного выброса радионуклидов в окружающую среду необходимо применять комплексный подход к обеспечению устойчивости сельского и лесного хозяйства, рыбного промысла и туризма, а также использования природных ресурсов.

¹⁵ INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection, ICRP, Ottawa (2012).

ПОСЛЕАВАРИЙНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Реабилитация пострадавших в результате аварии территорий за пределами площадки

Долгосрочной целью послеаварийного восстановления¹⁶ является воссоздание приемлемой основы для полноценного функционирования общества в пострадавших районах. Необходимо рассмотреть возможность реабилитации¹⁷ пострадавших в результате аварии территорий, с тем чтобы снизить дозы облучения до значений, соответствующих принятым референтным уровням. При подготовке к возвращению эвакуированных жителей необходимо учитывать такие факторы, как восстановление инфраструктуры и обеспечение жизнеспособности и устойчивой экономической деятельности общества.

До аварии на АЭС "Фукусима-дайти" в Японии не было установлено какой-либо политики или стратегий в отношении послеаварийной реабилитации, и поэтому возникла необходимость их разработки после аварии. Политика реабилитации территорий была введена в действие правительством Японии в августе 2011 года¹⁸. В рамках этой политики были распределены сферы ответственности национального и местного правительств, оператора и населения, а также созданы институциональные механизмы, необходимые для выполнения и координации программы работы.

Была разработана стратегия реабилитации и началось ее осуществление. В стратегии указывается, что в первую очередь реабилитации подлежат жилые районы, включая здания, земли фермерских хозяйств, дороги и объекты инфраструктуры, с уделением особого внимания снижению уровней внешнего облучения.

Основным путем облучения являются внешние дозы, получаемые от осевших на земле и на других поверхностях радионуклидов. В этой связи стратегия реабилитации сосредоточена на работах по дезактивации с целью снижения уровней активности радиоактивного цезия в первоочередных для реабилитации районах, что позволяет уменьшить потенциальную возможность получения таких доз облучения. Контроль и снижение доз внутреннего облучения обеспечивается за счет продолжения применения мер по ограничению потребления пищевых продуктов, а также путем проведения мероприятий по реабилитации сельскохозяйственных угодий.

После аварии власти в Японии приняли "референтный уровень" (контрольный уровень) в качестве целевого дозового уровня для всех операций в рамках стратегии реабилитации. Этот уровень соответствует нижнему значению диапазона, указанного в международных руководствах. Применение низкого референтного уровня влечет за

¹⁶ Послеаварийное восстановление включает: реабилитацию пострадавших в результате аварии территорий; стабилизацию состояния поврежденных установок на площадке и подготовку к их выводу из эксплуатации; обращение с загрязненными материалами и радиоактивными отходами, образующимися в ходе этой деятельности; возрождение общин и участие заинтересованных сторон.

¹⁷ Реабилитация означает любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения *радиационного облучения*, обусловленного наличием *радиоактивного загрязнения* участков земной поверхности, посредством мер, применяемых в отношении собственно *радиоактивного загрязнения (источника)* или *путей поступления облучения* к людям.

¹⁸ Закон о специальных мерах по борьбе с загрязнением окружающей среды радиоактивными материалами в результате их выброса во время аварии на атомной электростанции в регионе Тахоку после тихоокеанского землетрясения, происшедшего 11 марта 2011 года, Закон №110 2011 года.

собой увеличение объемов загрязненных материалов, образующихся в ходе мероприятий по реабилитации, увеличивая тем самым затраты и потребление ограниченных ресурсов. Приобретенный в Японии опыт мог бы использоваться при разработке практических руководств по применению международных норм безопасности в ситуациях послеаварийного восстановления.

На основе дополнительных годовых доз, оцененных осенью 2011 года, были определены две категории загрязненных территорий. В сферу ответственности правительства страны входили составление и реализация планов реабилитации в первой зоне ("особом районе дезактивации") – в радиусе 20 км от площадки АЭС "Фукусима-дайити", а также в районах, в которых, по прогнозам, дополнительные годовые дозы в результате загрязнения местности должны были в первый год после аварии превысить 20 мЗв. В сферу ответственности местных органов (муниципалитетов) вошло проведение мероприятий по реабилитации в другой зоне ("территории интенсивного контроля загрязнения"), в пределах которой, по прогнозам, дополнительные годовые дозы должны были превышать 1 мЗв, но оставаться ниже 20 мЗв. Были поставлены конкретные цели снижения доз, включая долгосрочную цель – достичь значения дополнительной годовой дозы 1 мЗв или ниже.

- **Необходимо осуществлять заблаговременное (до аварии) планирование мероприятий по послеаварийному восстановлению с целью повышения эффективности принятия решений в напряженной обстановке сразу после того, как произошла авария. Национальные стратегии и меры послеаварийного восстановления должны быть подготовлены заранее, с тем чтобы в случае ядерной аварии можно было сразу же привести в действие эффективную и соответствующую ситуации комплексную программу восстановления. В эти стратегии и меры следует включать вопросы создания правовой и регулирующей основы; типовые стратегии и критерии реабилитации в отношении остаточных доз излучения и уровней загрязнения; план по стабилизации ситуации и выводу из эксплуатации поврежденных ядерных установок; типовую стратегию обращения с большими объемами загрязненных материалов и радиоактивных отходов.**
- **В стратегиях реабилитации необходимо учитывать степень эффективности и осуществимости отдельных мер и объемы загрязненных материалов, которые будут образовываться в процессе реабилитации.**
- **В рамках стратегии реабилитации должны проводиться строгие проверки пищевых продуктов и необходим соответствующий контроль с целью предотвращения или сведения к минимуму доз, поступающих пероральным путем.**
- **Необходимо разработать дополнительные международные руководства по вопросам практического применения норм безопасности в области радиационной защиты в послеаварийных условиях восстановления.**

Стабилизация ситуации на площадке и подготовка к выводу из эксплуатации

Компанией ТЕРКО совместно с соответствующими государственными учреждениями Японии был разработан комплексный высокоуровневый стратегический план стабилизации ситуации и вывода из эксплуатации поврежденной атомной электростанции. План впервые был опубликован в декабре 2011 года, а затем дважды пересматривался с целью отражения накопленного опыта и уточненного состояния поврежденной атомной электростанции, а также масштаба будущих задач. Этот стратегический план учитывает сложный характер работ на площадке, и в нем излагаются: подход к обеспечению безопасности; меры по выводу из эксплуатации; системы и условия для облегчения работы; требования в отношении исследований и разработок.

На момент подготовки настоящего доклада функции безопасности были восстановлены, и конструкции, системы и элементы готовы надежно поддерживать стабильные условия на станции. Вместе с тем контроль за просачиванием подземных вод в поврежденные и загрязненные здания реакторов необходимо было продолжать. Радиоактивно загрязненная вода подвергалась обработке с целью максимально возможного удаления радионуклидов и была залита на хранение в более чем 800 цистерн. Необходимо найти более "устойчивые" решения, включающие все варианты, в том числе возможное возобновление контролируемых сбросов в море. Принятие окончательного решения потребует вовлечения в процесс консультаций соответствующих заинтересованных сторон и рассмотрения при этом социально-экономических условий, а также осуществления всеобъемлющей программы мониторинга.

Были разработаны планы обращения с отработавшим топливом и обломками топлива, и началось извлечение тепловыделяющих сборок из бассейна выдержки отработавшего топлива¹⁹. Была разработана концептуальная модель будущих работ по извлечению обломков топлива, в которой предусматривалось множество необходимых предварительных шагов, в том числе визуальное подтверждение конфигурации и состава обломков. Высокие уровни доз излучения в поврежденных реакторах не позволили осуществить такое подтверждение на момент подготовки настоящего доклада.

По оценкам компетентных органов Японии время, необходимое для завершения всех работ по выводу из эксплуатации, скорее всего, составит 30–40 лет. Решения в отношении конечного состояния станции и площадки будут сформулированы в ходе дальнейшего анализа и обсуждений.

- **После аварии для восстановления площадки необходимо разработать стратегический план долгосрочного поддержания стабильного состояния поврежденных в ходе аварии установок и их вывода из эксплуатации. Этот план должен быть гибким и легко корректируемым в связи с изменением условий и получением новой информации.**

¹⁹ Извлечение топлива из бассейна выдержки отработавшего топлива энергоблока 4 было завершено в декабре 2014 года.

- Для извлечения поврежденного топлива, а также характеристики и извлечения обломков топлива необходимо будет разработать решения, предназначенные специально для данной аварии, и потребуются особые методы и средства специально для данной цели.

Обращение с загрязненными материалами и радиоактивными отходами

Стабилизация поврежденной АЭС и работы по дезактивации площадки и реабилитации прилегающих территорий приводят к образованию больших объемов загрязненных материалов и радиоактивных отходов. После различных восстановительных мероприятий на площадке образовались большие объемы загрязненных твердых и жидких материалов, а также радиоактивных отходов²⁰. Обращение с такими материалами – с учетом их различных физических, химических и радиологических свойств – является весьма сложным и требует значительных усилий.

После аварии на АЭС "Фукусима-дайити" было трудно определить места для хранения крупных объемов загрязненных материалов, образовавшихся в результате проведения мероприятий по реабилитации за пределами площадки. На момент подготовки настоящего доклада в местных общинах было сооружено несколько сотен временных пунктов хранения, и продолжались работы по строительству пункта промежуточного хранения.

- В национальные стратегии и меры послеаварийного восстановления должна быть включена разработка типовой стратегии обращения с загрязненными жидкими и твердыми материалами и радиоактивными отходами, подкрепленной типовыми оценками безопасности применительно к их сбросу, хранению и захоронению.

Возрождение общин и участие заинтересованных сторон

Ядерная авария и меры радиационной защиты, введенные во время аварийной фазы и на этапе послеаварийного восстановления, оказали существенное влияние на образ жизни пострадавшего населения. Эвакуация и переселение, а также ограничения на потребление пищевых продуктов явились тяжелым испытанием для попавших в такое положение людей. Осуществляемые в префектуре Фукусима проекты по возрождению и реконструкции были разработаны на основе понимания социально-экономических последствий аварии. В этих проектах охватываются такие вопросы, как реконструкция инфраструктуры, возрождение общин, а также поддержка и компенсация.

Информирование населения о восстановительных мероприятиях является важным средством укрепления доверия. Для эффективного общения с людьми экспертам необходимо понимать, какого рода информация требуется пострадавшему населению, и предоставлять понятную информацию с помощью соответствующих средств. После аварии эффективность связи с общественностью повысилась и пострадавшее население стало принимать все более активное участие в процессе принятия решений и в мероприятиях по реабилитации.

²⁰ Различие между загрязненными материалами и радиоактивными отходами зависит от радионуклидов и концентраций активности, связанных с материалами.

- Необходимо признавать социально-экономические последствия любой ядерной аварии и последующих защитных мер и разрабатывать проекты возрождения и реконструкции, в рамках которых следует решать такие вопросы, как реконструкция инфраструктуры, возрождение общин и возмещение ущерба.
- Поддержка со стороны заинтересованных сторон необходима в отношении всех аспектов послеаварийного восстановления. В частности, участие пострадавшего населения в процессах принятия решений необходимо для обеспечения успеха, приемлемости и эффективности восстановления и для целей возрождения общин. Эффективная программа восстановления требует доверия и участия пострадавшего населения. Доверие к осуществляемым восстановительным мерам следует укреплять путем налаживания процесса диалога, предоставления последовательной, ясной и своевременной информации, а также посредством оказания поддержки пострадавшему населению.

АВАРИЯ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙИТИ"

ИТОГОВЫЙ ДОКЛАД

1. ВВЕДЕНИЕ

11 марта 2011 года произошло Великое восточнояпонское землетрясение. Оно было вызвано внезапным выбросом энергии на границе раздела литосферных плит, где Тихоокеанская тектоническая плита резко сдвинулась под Северо-американскую тектоническую плиту. Произошел разрыв части земной коры, согласно оценкам, размером примерно 500 км в длину и 200 км в ширину, который привел к мощному землетрясению магнитудой 9,0 и цунами, обрушившемуся на обширные территории прибрежных районов Японии, включая северо-восточную часть побережья, где некоторые волны достигали высоты свыше десяти метров. Землетрясение и цунами привели к гибели большого числа людей и широкомасштабным разрушениям в Японии. Погибли более 15 000 человек и свыше 6000 человек получили ранения, и на момент составления настоящего доклада²¹ примерно 2500 человек оставались без вести пропавшими [1]. Значительный ущерб был причинен зданиям и объектам инфраструктуры, в частности вдоль северо-восточного побережья Японии.

На атомной электростанции (АЭС) "Фукусима-дайити", эксплуатацию которой осуществляет Токийская электроэнергетическая компания (ТЕПКО), землетрясение повредило линии электроснабжения на площадке и цунами привело к значительному разрушению эксплуатационной инфраструктуры, а также инфраструктуры, обеспечивающей безопасность на площадке. В совокупности это привело к потере внешнего энергоснабжения и выходу из строя источников электроснабжения на площадке. Это, в свою очередь, привело к утрате функции охлаждения на трех работавших реакторных блоках²², а также в бассейнах выдержки отработавшего топлива. Четыре других АЭС²³, располагающихся вдоль побережья, также пострадали в различной степени от землетрясения и цунами. Однако все работавшие реакторные блоки этих станций были безопасно остановлены.

Несмотря на усилия операторов АЭС "Фукусима-дайити", направленные на сохранение контроля над станцией, произошел перегрев активной зоны реакторов энергоблоков 1–3, ядерное топливо расплавилось и целостность трех защитных оболочек была нарушена. Из реакторных корпусов высокого давления произошли выбросы водорода, которые привели к взрывам внутри реакторных зданий блоков 1, 3 и 4, и в результате были разрушены конструкции и оборудование и пострадал персонал станции. Радионуклиды со станции поступили в атмосферу и затем осаждались на поверхности суши и океана. Кроме того, произошли прямые сбросы в море.

²¹ Март 2015 года. В некоторых случаях имелась информация за период по июнь 2015 года, и она по мере возможности включалась в доклад.

²² Из шести энергоблоков АЭС "Фукусима-дайити" на момент аварии действующими были блоки 1, 2 и 3; блоки 4, 5 и 6 находились в состоянии планового останова.

²³ АЭС "Хигасидори", "Онагава", "Фукусима-дайити" и "Токай-дайити".

Население, проживающее на территориях в радиусе 20 км от площадки станции и в других районах, было эвакуировано, и жителям в радиусе 20-30 км было рекомендовано оставаться в укрытых местах, а затем им была предложена добровольная эвакуация. Были введены ограничения в отношении распределения и потребления продовольствия и потребления питьевой воды. На момент составления настоящего доклада многие люди по-прежнему жили за пределами районов, из которых они были эвакуированы.

После стабилизации состояния реакторов АЭС "Фукусима-дайити"²⁴ начались работы по подготовке к их окончательному выводу из эксплуатации. В 2011 году были начаты работы по восстановлению районов, пострадавших в результате аварии, включая реабилитационные работы, а также возрождение общин и восстановление инфраструктуры.

1.1. ДОКЛАД ОБ АВАРИИ НА АЭС "ФУКУСИМА-ДАЙИТИ"

На Генеральной конференции МАГАТЭ в сентябре 2012 года Генеральный директор объявил, что МАГАТЭ подготовит доклад об аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Позднее он подтвердил, что доклад даст "авторитетную, фактологическую и сбалансированную оценку с рассмотрением причин и последствий аварии, а также извлеченных уроков" [2].

Доклад об аварии на АЭС "Фукусима-дайити" является результатом широкомасштабных международных совместных усилий пяти рабочих групп с участием примерно 180 экспертов из 42 государств-членов (имеющих и не имеющих ядерно-энергетические программы) и ряда международных органов. Это обеспечило использование широкого спектра знаний и опыта. Международная техническая консультативная группа предоставляла консультации по техническим и научным вопросам. Для обеспечения руководства, а также координации и рецензирования доклада была создана Центральная группа в составе старших руководителей МАГАТЭ. Были также предусмотрены дополнительные механизмы внутреннего и внешнего контроля, как показано на рис. 1.1.

²⁴ 16 декабря 2011 года Бюро по комплексному реагированию правительства и ТЕПКО объявило о том, что на энергоблоках 1–3 были достигнуты условия для "состояния холодного останова". Определение термина "состояние холодного останова" было дано правительством Японии специально для АЭС "Фукусима-дайити". Оно отличается от определения термина, принятого МАГАТЭ и другими организациями.

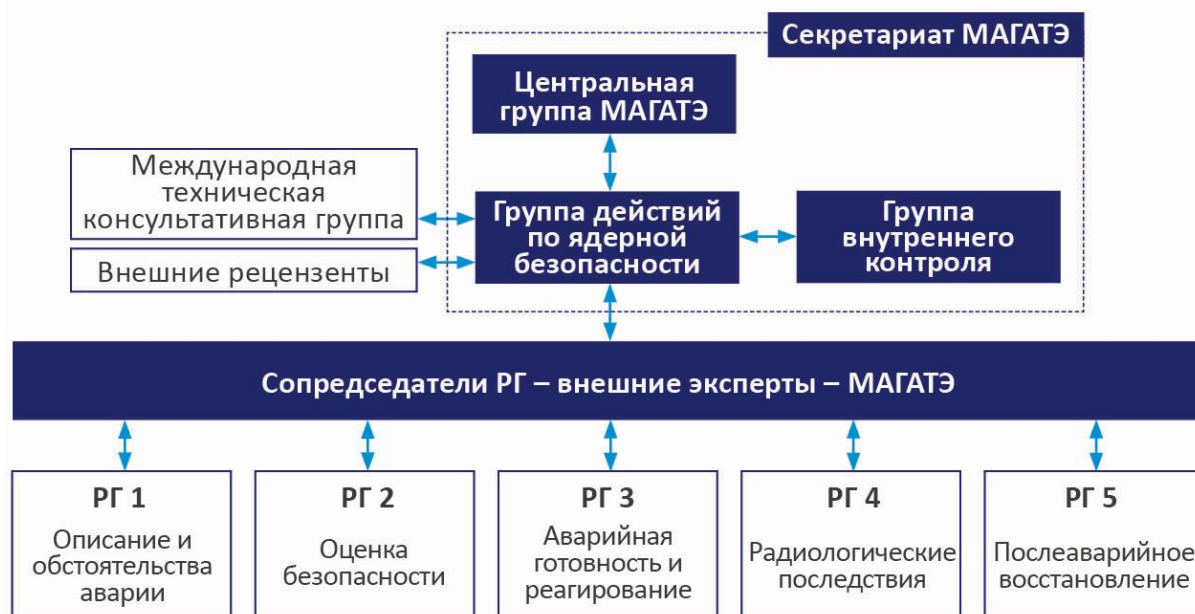


РИС. 1.1. Организационная структура МАГАТЭ для подготовки доклада об аварии на АЭС "Фукусима-дайити".

Настоящий доклад Генерального директора состоит из резюме и итогового доклада. Он основан на пяти детальных технических томах, подготовленных международными экспертами, и вкладе многих экспертов и международных органов, участвовавших в данной работе. Доклад содержит описание аварии, причин аварии, ее развития и последствий на основе оценки данных и информации из многочисленных источников, ставших доступными в период времени по март 2015 года, включая результаты работы, выполненной в ходе осуществления Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности (Плана действий)²⁵, а также включает изложение основных замечаний и извлеченных уроков. Значительный объем данных был предоставлен правительством Японии и другими японскими организациями.

Пять технических томов предназначены для специалистов соответствующих органов государств – членов МАГАТЭ, международных организаций, ядерных регулирующих органов, эксплуатирующих АЭС организаций, проектировщиков ядерных установок и других экспертов в вопросах, имеющих отношение к атомной энергетике.

Настоящий доклад Генерального директора включает следующие шесть разделов:

²⁵ В Плана действий, единогласно одобренном 55-й очередной сессией Генеральной конференции в 2011 году, определена программа работы по укреплению глобальной системы ядерной безопасности. Он предусматривает 12 основных действий, касающихся: оценки безопасности; экспертных рассмотрений МАГАТЭ; аварийной готовности и реагирования; национальных регулирующих органов; эксплуатирующих организаций; норм МАГАТЭ по безопасности; международно-правовой основы; государств-членов, планирующих приступить к реализации ядерно-энергетической программы; развития соответствующих потенциалов; защиты людей и окружающей среды от воздействия ионизирующих излучений; коммуникации и распространения информации; научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Подробное обсуждение Плана действий приводится в разделе 6.1.

- раздел 1: введение;
- раздел 2: аварии и ее причины, включая описание последовательности событий и оценку того, как экстремальные природные явления привели к тяжелой ядерной аварии;
- раздел 3: аварийная готовность и реагирование, включая меры по защите аварийных работников и населения, и осуществление этих мероприятий во время и сразу после аварии;
- раздел 4: радиологические последствия аварии, включая облучение персонала и населения, и последствия для здоровья и окружающей среды;
- раздел 5: послеаварийные восстановительные мероприятия, включая вывод станции из эксплуатации, стратегии реабилитации пострадавших территорий за пределами районов, обращение с отходами и стратегии возрождения;
- раздел 6: обзор деятельности МАГАТЭ и договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности в рамках реагирования на аварию.

Основные замечания и уроки, связанные со специфическими особенностями аварии, представлены в разделах 2–5. Взаимосвязь между содержанием доклада Генерального директора и содержанием технических томов показана на рис. 1.2.

Раздел 1: Введение	Доклад об аварии на АЭС “Фукусима-дайти”					
Раздел 2: Авария и ее оценка	Описание аварии	Соображения, касающиеся ядерной безопасности	Технические тома 1 и 2			
Раздел 3: Аварийная готовность и реагирова- ние	Первоначальное реагирование на аварию в Японии	Защита аварийных работников	Защита населения	Переход от аварийной фазы к этапу восстанови- тельных работ и анализу реагирования	Реагирова- ние в рамках международ- ной системы готовности и реагирования в случае аварий- ных ситуаций	Технический том 3
Раздел 4: Радиоло- гические последствия	Радиоак- тивность в окружающей среде	Защита людей от воздействия излучения	Радиационное облучение	Последствия для здоровья	Радиологиче- ские послед- ствия для не- человеческих организмов	Технический том 4
Раздел 5: Послеава- рийное вос- становление	Реабилитация пострадавших в результате аварии территорий за пределами площадки	Стабилизация ситуации на площадке и подготовка к выводу из эксплуатации	Обращение с загрязненны- ми материа- лами и ради- оактивными отходами	Возрождение общин и участие заин- тересованных сторон	Технический том 5	
Раздел 6: Реагирова- ние МАГАТЭ на аварию	Деятельность МАГАТЭ	Совещания договариваю- щихся сторон Конвенции о ядерной безопасности	Технические тома 1 и 3			

РИС. 1.2. Структура итогового доклада и ее взаимосвязь с содержанием технических томов.

2. АВАРИЯ И ЕЕ ОЦЕНКА

Данный раздел содержит краткое описание аварии на АЭС "Фукусима-дайити" с оценкой факторов, которые, как считается, внесли вклад в ее причины и последствия.

В разделе 2.1 представлена хронология основных событий, включая произошедшее землетрясение и цунами, а также последующих событий.

Раздел 2.2 посвящен оценке причин аварии. Он начинается с оценки уязвимости АЭС "Фукусима-дайити" к внешним опасностям, и в нем рассмотрены конструкция, развитие аварии, усилия операторов по поддержанию фундаментальных функций безопасности, а также действия, предпринятые ими. В этом разделе также рассматриваются эффективность регулирующей базы в Японии, а также влияние человеческих и организационных факторов на состояние ядерной безопасности.

2.1. ОПИСАНИЕ АВАРИИ

Приведенное описание основано главным образом на информации, которую правительство Японии представило МАГАТЭ [3, 4], докладах комитетов по расследованию, учрежденных правительством Японии [5, 6], парламентом Японии [7] и ТЕПКО [8], включая обновления и дополнения, внесенные ТЕПКО [9, 10], регулирующим органом [11] и миссиями МАГАТЭ, перечисленными в разделе 6 доклада. Другие источники, информация из которых была использована, указываются отдельно.

События представлены в хронологическом порядке. Некоторые основные события развивались параллельно или оказывали влияние на действия на других участках промплощадки.

2.1.1. Исходное событие и реагирование

Землетрясение и потеря внешнего электроснабжения

11 марта 2011 года в 14:46 по японскому поясному времени (JST), 05:46 UTC²⁶, у восточного побережья Японии произошло Великое восточнояпонское землетрясение. Оно было вызвано внезапным выбросом энергии на границе раздела литосферных плит, где Тихоокеанская тектоническая плита резко сдвинулась под Североамериканскую тектоническую плиту (рис. 2.1). Основной толчок с магнитудой 9,0 [12] длился более двух минут с несколькими значительными импульсами и афтершоками. Это сейсмоявление можно отнести к мощнейшим зарегистрированным землетрясениям, большинство из которых возникали в районах вдоль Тихоокеанской тектонической плиты: землетрясения 1960 и 2010 годов в Чили магнитудой 9,5 и 8,8, соответственно, и землетрясения на Аляске (1964 год) и Суматре (2004 год), оба магнитудой 9,2.

²⁶ Всемирное координированное время, которое на девять часов отстает от японского поясного времени (JST). Если не указано иное, во всех случаях при указании времени в докладе используется JST.



РИС. 2.1. Эпицентр Великого восточнояпонского землетрясения и находящиеся поблизости атомные электростанции.

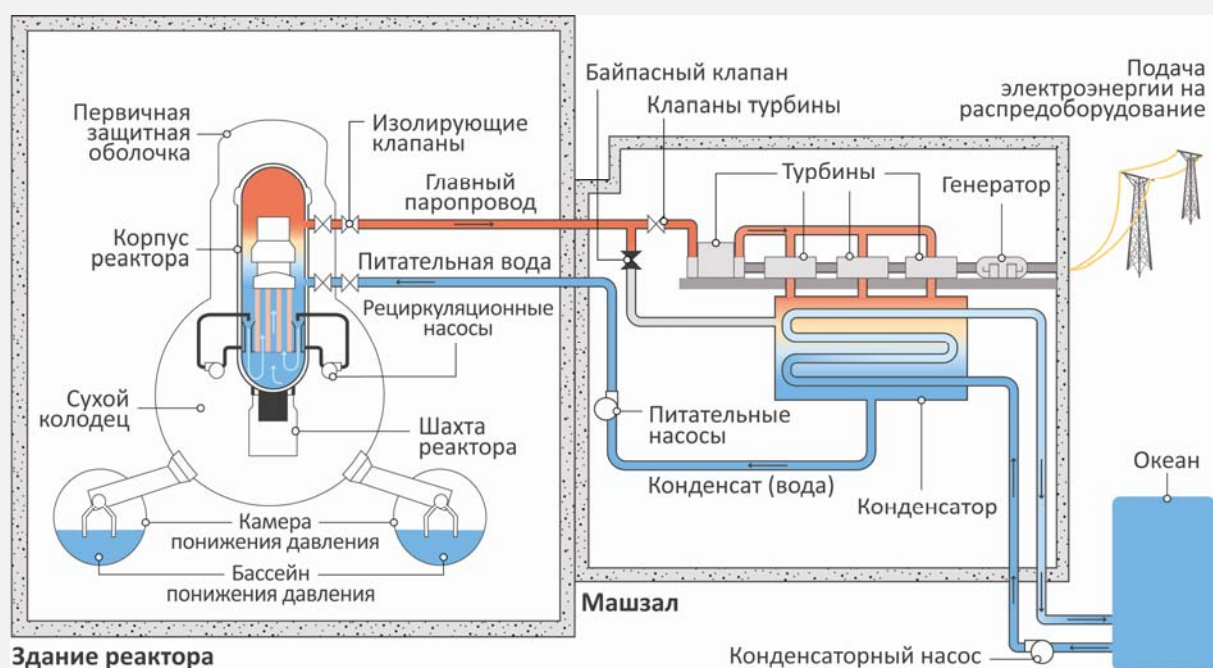
В момент возникновения землетрясения три из шести кипящих реакторов (вставка 2.1) на АЭС "Фукусима-дайити" [13] работали на полной мощности и три энергоблока были остановлены для перегрузки топлива и проведения работ по техническому обслуживанию. Работавшие реакторы блоков 1–3 были остановлены автоматически, когда датчики на станции зафиксировали колебание грунта и включили системы защиты реакторов, предусмотренные в их конструкции. Это автоматическое срабатывание позволило достичь контроля реактивности.

В состоянии останова активные зоны реакторов продолжали генерировать тепло (называемое остаточным тепловыделением). Для предотвращения перегрева ядерного топлива это остаточное тепло должно было удаляться системами охлаждения, которые в основном работали или управлялись посредством использования источников электроснабжения. Землетрясение повредило распределительное оборудование

электроснабжения на площадке, подстанционное оборудование за пределами площадки и линии электропередачи, подающие электроэнергию на АЭС от внешнего источника переменного тока, что привело к потере всего внешнего электроснабжения. Находящиеся на промплощадке резервные источники электроснабжения, т.е. аварийные дизель-генераторы, предназначенные для использования в ситуациях потери внешнего электроснабжения, автоматически включились, чтобы восстановить подачу переменного тока для электроснабжения всех шести энергоблоков.

Вставка 2.1. Кипящие реакторы

В кипящих реакторах применяется замкнутый контур с прямым паровым циклом, как показано на схеме ниже. Рабочая текучая среда представляет собой воду, которая используется как в качестве охлаждающей жидкости для отвода тепла, так и замедлителя для управления реактивностью. Охлаждающая вода кипит в активной зоне реактора при давлении около 7 МПа, и образующийся пар используется для привода турбин и выработки электроэнергии. После прохождения через турбины пар конденсируется и превращается обратно в воду, охлаждаясь от трубок конденсатора, заполненных холодной водой, поступающей из поглотителя тепла, например океана. Образующаяся в результате конденсации вода закачивается обратно в реактор в качестве питательной воды.



Энергоблоки 1–3 были автоматически изолированы от своих турбинных систем вследствие прекращения электроснабжения, что привело к росту температуры и давления в реакторе из-за остаточного тепловыделения. Охлаждение этих реакторов в условиях их изоляции обеспечивалось за счет следующих проектных и эксплуатационных мер (вставка 2.2):

- по мере роста давления в реакторе энергоблока 1 оба контура системы изоляционного конденсатора были автоматически включены и продолжали охлаждать реактор. Включение обоих контуров изоляционного конденсатора настолько быстро понизило давление и температуру в реакторе, что операторы вынуждены были вручную остановить их работу в соответствии с

предусмотренными процедурами во избежание возникновения термических напряжений в корпусе реактора. Затем только один из контуров использовался операторами для регулирования скорости расхолаживания²⁷ в диапазоне, предписанном процедурами;

- в результате повышения давления в реакторах энергоблоков 2 и 3 произошло автоматическое срабатывание предохранительных клапанов, обеспечивающих защиту реактора от чрезмерного повышения давления путем выпуска пара из корпуса реактора в бассейн понижения давления первичной защитной оболочки (контейнмента). Это привело к снижению уровня воды в реакторе. Операторы вручную включили систему охлаждения при изоляции активной зоны реактора в соответствии с предусмотренными процедурами.

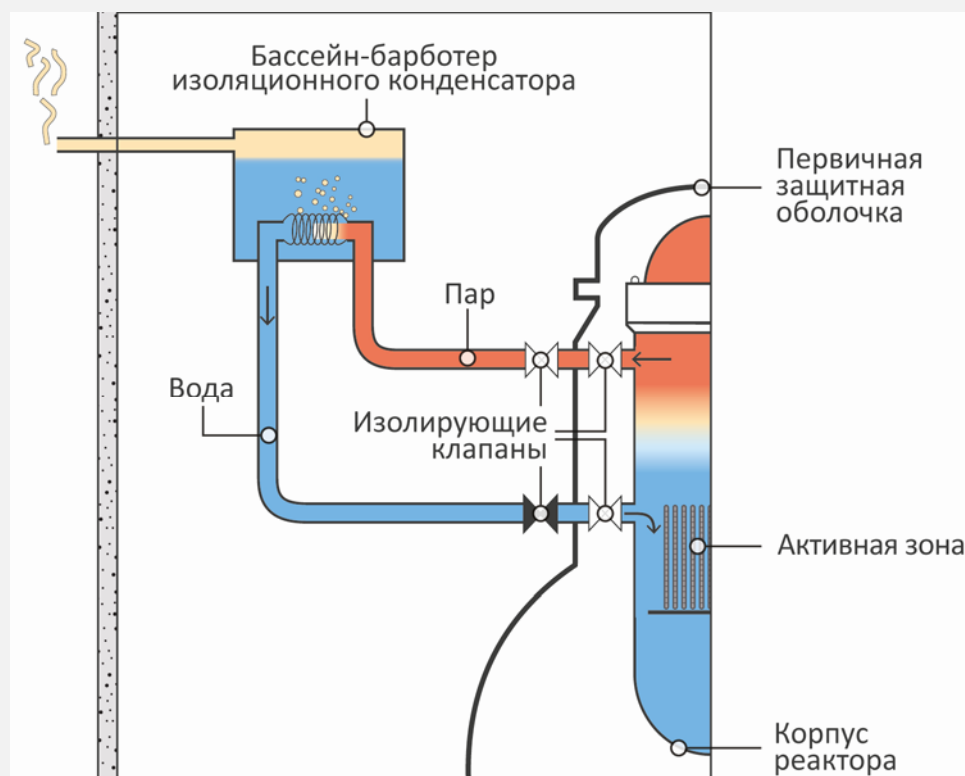
Вставка 2.2. Системы охлаждения активной зоны при изоляции реактора от турбины

Охлаждение кипящих реакторов в случае нормального останова при высоком давлении в реакторе осуществляется путем направления пара из реактора в главный конденсатор в обход турбин (см. вставку 2.1). Однако при изоляции реактора этот вариант не может быть реализован, и охлаждение активной зоны обеспечивается системами, предназначенными для использования при изоляции реактора в условиях высокого давления, которое существует после останова реактора. В конструкции реакторов АЭС "Фукусима-дайити" такими системами были: система изоляционного конденсатора (IC) на энергоблоке 1 (более ранней конструкции) и система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции (RCIC) на энергоблоках 2–6.

Изоляционный конденсатор. В конструкции энергоблока 1 с учетом резервирования было предусмотрено два отдельных контура изоляционного конденсатора. В этих замкнутых контурах первичная сторона изоляционного конденсатора получала пар, образующийся в реакторе, и конденсировала его путем охлаждения внутри теплообменных трубок, находящихся в баках с холодной водой (бассейнах-барботерах изоляционных конденсаторов), расположенных за пределами первичной защитной оболочки (гермооболочки) реактора. Затем конденсат в виде холодной воды поступал обратно в реактор под действием силы тяжести (см. схему ниже). Без смешивания с радиоактивной водой первичной стороны вода вторичной стороны в бассейнах-барботерах изоляционных конденсаторов вскипала, и образующийся пар выпускался в атмосферу, которая использовалась в качестве поглотителя тепла. Объем воды на вторичной стороне изоляционного конденсатора (суммарно в обоих контурах) был недостаточен для обеспечения охлаждения в течение восьми часов до необходимого пополнения из источника воды специального назначения.

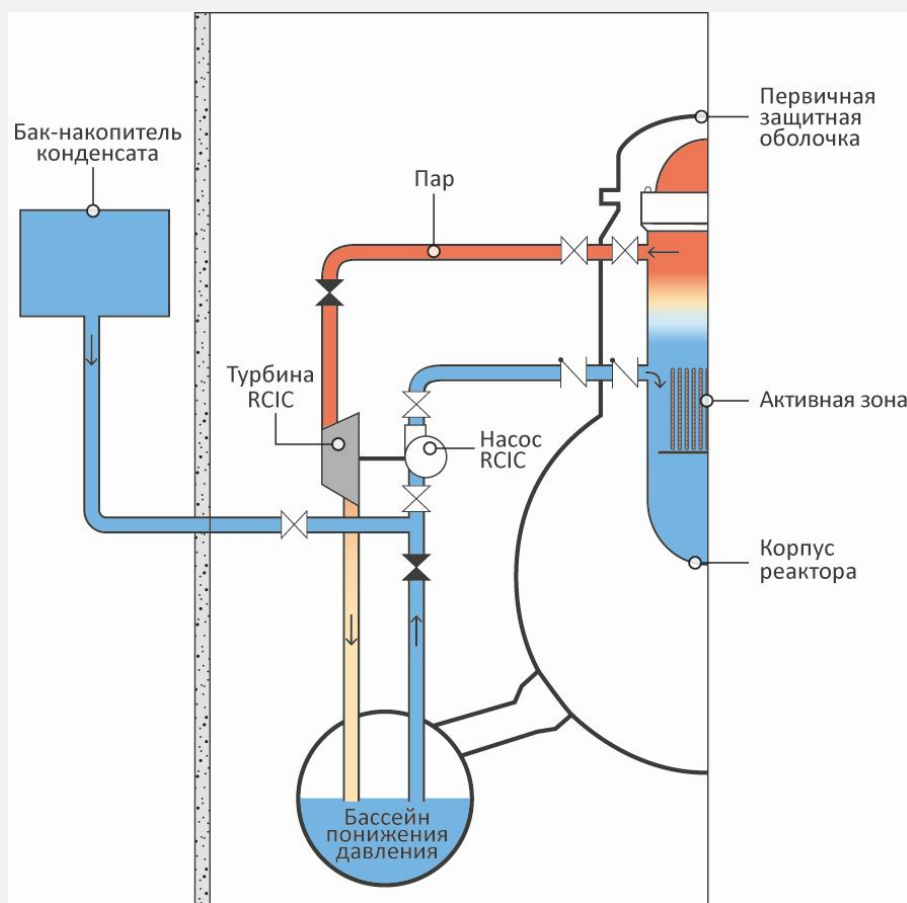
²⁷ В кипящих реакторах скорость расхолаживания отслеживается и контролируется посредством понижения давления в реакторе, что в свою очередь означает снижение температуры в реакторе.

Вставка 2.2. Системы охлаждения активной зоны при изоляции реактора от турбины (продолжение)



Охлаждение активной зоны реактора в условиях изоляции. В конструкции энергоблоков 2–6 были предусмотрены системы охлаждения незамкнутого цикла, для которых необходим источник пополнения воды в реакторной системе. В системах охлаждения при изоляции активной зоны поступающий из реактора пар запускал небольшую турбину, которая, в свою очередь, приводила в действие насос, осуществляющий впрыск воды в реактор при высоком давлении. Пар, вращающий турбину, на выходе поступал в бассейн сброса давления первичной защитной гермооболочки, который служил в качестве поглотителя избыточного тепла. Пополнение утраченной в реакторе воды осуществлялось путем забора пресной воды из бака-накопителя конденсата (см. схему ниже). В случае опорожнения бака или наполнения бассейна понижения давления можно было использовать воду, накопившуюся в этом бассейне, что делало систему по существу работающей в режиме замкнутого цикла. Охлаждение активной зоны реактора в условиях изоляции было предназначено для функционирования в течение не менее четырех часов.

Вставка 2.2. Системы охлаждения активной зоны при изоляции реактора от турбины (продолжение)



Остаточное тепловыделение из ядерного топлива на энергоблоках 4-6 также требовалось удалять:

- на энергоблоке 4 оборудование для охлаждения и пополнения воды в бассейне выдержки отработавшего топлива²⁸ стало неработоспособным в результате потери внешнего электроснабжения. В бассейне выдержки отработавшего топлива энергоблока 4, содержащем более 1300 отработавших тепловыделяющих сборок, было максимальное количество остаточного тепловыделения, подлежавшего удалению, по сравнению со всеми бассейнами выдержки отработавшего топлива других энергоблоков;
- на энергоблоке 5 давление в реакторе, которое поддерживалось в момент землетрясения путем использования насоса для опрессовки под давлением, первоначально снизилось, когда насос остановился в результате потери внешнего электроснабжения. Давление начало расти вследствие остаточного

²⁸ Бассейны выдержки отработавшего топлива, в которых хранятся сборки с отработавшим и свежим топливом, заполнены водой, обеспечивающей защиту от излучения и отвод тепла от ядерного топлива, находящегося в бассейне. Однако без охлаждения вода в бассейне будет нагреваться и в конечном итоге может начаться ее испарение. Если такая ситуация сохраняется и подпитки водой не происходит, охлаждение топлива прекращается при падении уровня воды и топливо оголяется. Перегрев и облучение приводит к повреждению топлива и выбросам радионуклидов.

тепловыделения, однако, в отличие от энергоблоков 2 и 3, оно оставалось значительно ниже значения, заданного для срабатывания предохранительных клапанов;

- в реакторе энергоблока 6 фиксировались околоатмосферное давление и "комнатная" температура с топливом в активной зоне, и остаточное тепловыделение было низким.

В бассейнах выдержки отработавшего топлива всех энергоблоков и централизованном мокром хранилище отработавшего топлива²⁹, которые остались без охлаждения и подпитки водой в результате потери внешнего электроснабжения, температура воды в бассейнах начала расти вследствие остаточного тепловыделения.

В связи с землетрясением и потерей внешнего электроснабжения операторы вынуждены были применить "событийно-ориентированные" эксплуатационные процедуры при нарушении нормальной эксплуатации во всех трех блочных пунктах управления шести энергоблоков³⁰. В центре аварийного реагирования на площадке, находящемся в "сейсмостойком здании", начала работать группа аварийного реагирования в условиях землетрясения³¹. На директора станции была возложена ответственность за руководство действиями по реагированию на площадке и за координацию действий персонала на площадке и организаций за ее пределами в качестве руководителя центра ТЕПКО по аварийному реагированию на площадке. Три начальника смены в каждом из блочных пунктов управления отвечали за руководство действиями на соответствующих энергоблоках под общим руководством директора станции.

Реагирование на энергоблоках АЭС "Фукусима-дайити" на исходное событие, т.е. землетрясение и последовавшую за ним потерю внешнего электроснабжения, осуществлялось в соответствии с проектными требованиями и как предусмотрено в оперативных процедурах (за исключением некоторых действий операторов, выполнение которых было ограничено или происходило с задержками из-за возникавших афтершоков) (рис. 2.2).

²⁹ В централизованном мокром хранилище отработавшего топлива, которое представляет собой дополнительное, являющееся общим для имеющихся энергоблоков сооружение, расположенное в отдельном здании рядом с энергоблоком 4, хранилось 6000 отработавших тепловыделяющих сборок, от которых необходимо было отводить остаточное тепловыделение.

³⁰ Каждая пара энергоблоков, т.е. энергоблоки 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, имела общий главный пункт управления.

³¹ Сейсмостойкое здание было построено с учетом опыта, накопленного в связи с землетрясением в прибрежной зоне района Тюэцу в префектуре Ниигата в месте расположения АЭС "Касивадзаки-Карива", произошедшим в 2007 году, и введено в эксплуатацию в июле 2010 года. Оно было спроектировано с расчетом противостоять землетрясениям и оснащено источником резервного электроснабжения. Для защиты от радиоактивности предусмотрены вентиляционные системы с фильтрацией и защита от излучения.

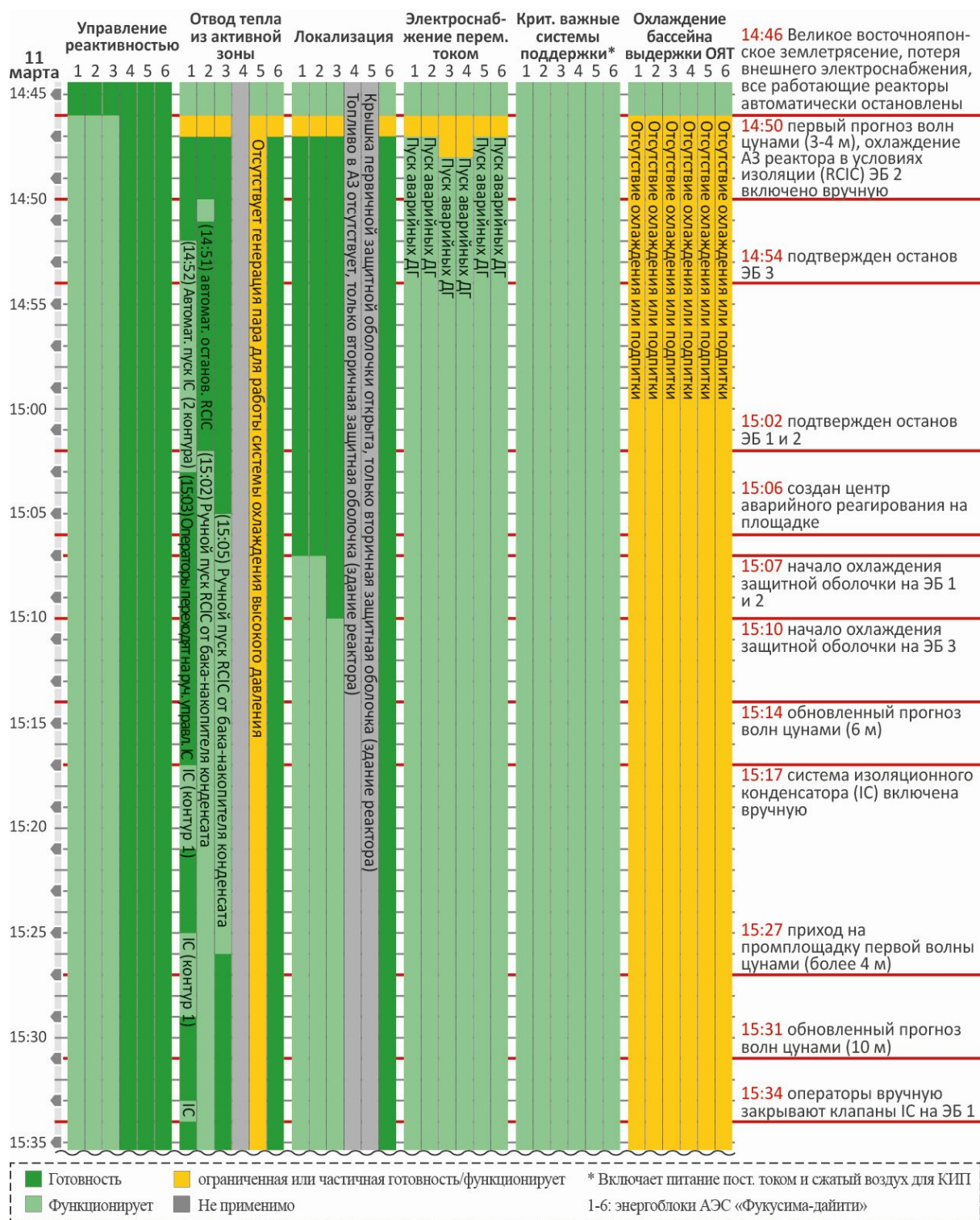


РИС. 2.2. Реагирование АЭС "Фукусима-дайити" на землетрясение и потерю внешнего электроснабжения.

Цунами и обесточивание станции

В дополнение к мощному колебанию грунта землетрясение инициировало перемещение огромной массы воды и возникновение серии громадных волн цунами [14]. Эти волны цунами, достигнув побережья, привели к разрушительным последствиям на большой площади (рис. 2.3).

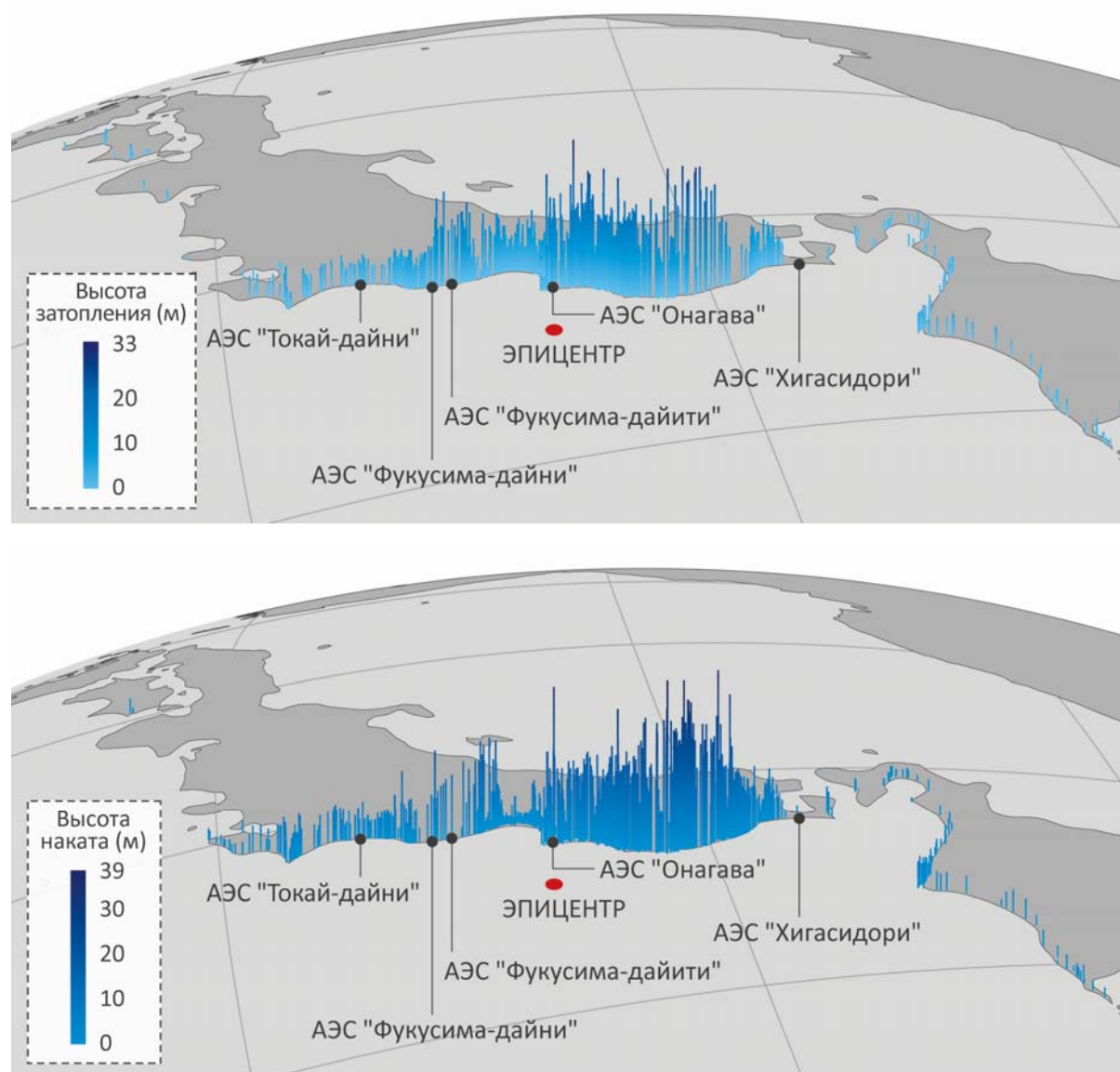


РИС. 2.3. Изменение воздействия волн цунами, высота затопления (вверху) и наката (внизу)³² в условиях прибрежной географии и топографии [15].

Волны цунами достигли АЭС "Фукусима-дайити" приблизительно через 40 минут после землетрясения. Промплощадка была защищена от первой волны, имевшей высоту наката 4–5 м, противоцунамными волноломами, рассчитанными на обеспечение защиты от волн цунами с максимальной высотой 5,5 м [16]. Однако

³² Высота наката есть высота волны в самой дальней точке суши, а высота затопления – высота гребня волны по отношению к уровню моря.

примерно через 10 минут после первой волны на волноломы обрушилась вторая и самая большая волна с высотой наката 14–15 м, которая затопила площадку. Она накрыла все конструкции и оборудование, расположенные на побережье, а также основные сооружения (включая реакторные здания, турбинные залы и вспомогательные сооружения), расположенные на более высоких отметках (рис. 2.4)³³, что привело к следующей последовательности событий:

- волна затопила и вывела из строя незакрытые насосы морской воды и электродвигатели в местах забора морской воды на береговой линии. В результате важнейшие системы и элементы станции, включая водоохлаждаемые аварийные дизель-генераторы³⁴, остались без охлаждения, необходимого для обеспечения их непрерывной работы;
- волна затопила и повредила хранилище сухих контейнеров, расположенное на берегу между энергоблоками 1–4 и 5–6. Значительного воздействия на контейнеры и топливо, хранящееся в этих контейнерах, это не оказало, что впоследствии было подтверждено [17];
- вода проникла в здания, включая все здания реакторов и турбин, централизованное хранилище отработавшего топлива и здание дизель-генераторов, и затопила их. Она повредила здания и размещенное в них электрическое и механическое оборудование на уровне земли и нижних этажей. В число поврежденного оборудования вошли аварийные дизель-генераторы или связанные с ними электрические соединения, что привело к потере аварийного энергоснабжения переменного тока. Только один аварийный дизель-генератор с воздушным охлаждением – на энергоблоке 6 – не пострадал от затопления³⁵. Он продолжал работать, обеспечивая аварийное электроснабжение переменного тока для систем безопасности энергоблока 6 и охлаждение реактора.

В результате этих событий энергоблоки 1–5 были полностью лишены электропитания переменным током, и возникло состояние, которое называют обесточиванием станции.

Ввиду обесточивания энергоблоков 1–5 было начато применение аварийных эксплуатационных процедур, предусмотренных на случай «потери всех источников переменного тока» [18]. Директором станции – руководителем центра аварийного реагирования на площадке эксплуатирующей организации ТЕРКО было объявлено «чрезвычайное положение», как это определено в

³³ Административные здания и сейсмостойкое здание, в котором находился центр аварийного реагирования на площадке станции, расположены на уступе высотой около 35 м (которая была первоначальной высотной отметкой топографического плана до начала экскавационных работ на территории площадки для размещения энергоблоков в период строительства).

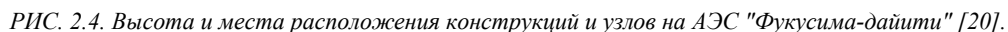
³⁴ Каждый энергоблок имел по два аварийных дизель-генератора, и на энергоблоке 6 был предусмотрен дополнительный генератор. При общем количестве 13 аварийных дизель-генераторов у каждого из энергоблоков 2, 4 и 6 было по одному генератору с воздушным охлаждением. Благодаря воздушному охлаждению потеря подачи охлаждающей воды из-за повреждения насосов морской воды не повлияла на работоспособность этих генераторов.

³⁵ Аварийные дизель-генераторы энергоблока 2 с воздушным охлаждением (расположенные на первом этаже централизованного хранилища отработавшего топлива) и энергоблока 6 (расположенные на втором этаже отдельного здания дизель-генераторов на более высокой отметке), по всей видимости, не пострадали от затопления. А оборудование (распределительные устройства, энергоузлы, панели и т.п.) аварийных дизель-генераторов энергоблоков 2 и 4, которые находились в подвальном помещении централизованного хранилища отработавшего топлива, пострадали от затопления.

положениях, касающихся Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям [19], называемого далее «Закон о ядерных аварийных ситуациях», ввиду наступления состояния, при котором «некоторые системы безопасности становятся неработоспособными». Согласно требованиям Закона о ядерных аварийных ситуациях, соответственно были проинформированы соответствующие учреждения за пределами площадки.

Энергоблоки АЭС "Фукусима-дайити", как и другие станции примерно такого же года постройки, были спроектированы с расчетом выдерживать обесточивание станции в течение восьми часов за счет использования аккумуляторных батарей постоянного тока, предусмотренных на реакторных блоках³⁶.

³⁶ АЭС обычно оснащаются размещаемыми на промплощадке источниками постоянного тока и дополнительными резервными источниками переменного тока (т.е. газотурбинными или дизельными генераторами) для противостояния обесточиванию станции в течение ограниченного периода времени от 4 до 72 часов. Период устранения нештатной ситуации определяется главным образом временем, которое требуется для восстановления работоспособности источников переменного тока, применяемых для энергоснабжения АЭС, и эффективностью имеющихся в распоряжении мер. В течение этого времени используется такое оборудование как аккумуляторные батареи постоянного тока, инверторы постоянного/переменного тока и другие вторичные резервные источники питания переменного тока (например, газотурбинные или дизельные генераторы).



Вследствие потери всех источников питания (переменного и постоянного тока) операторы блоков 1 и 2 больше не имели возможности контролировать основные параметры станции, такие как давление и уровень воды в реакторе, или состояние основных систем и узлов, используемых для охлаждения активной зоны. Как уже упоминалось ранее, функция отвода тепла в бассейнах выдержки отработавшего топлива на всех энергоблоках была уже утрачена после потери внешнего электроснабжения. Дополнительная потеря источников постоянного тока на блоках 1, 2 и 4 привела к тому, что операторы были не в состоянии контролировать температуру и уровень воды в бассейнах выдержки отработавшего топлива этих блоков.

При отсутствии процедур, предписывающих действия при потере всех источников электроснабжения (переменного и постоянного тока), операторы блоков 1, 2 и 4 не имели конкретных инструкций в отношении действий в таких условиях полного обесточивания. Операторы и персонал центра аварийного реагирования начали изучать имеющиеся варианты действий и возможные пути восстановления энергоснабжения и функций контроля режимов и управления станцией.

Реагирование на энергоблоках 3, 5 и 6

На энергоблоках 3, 5 и 6 электроснабжение сохранилось, и операторы могли следить за состоянием блоков станции, поскольку приборы контроля и органы управления блочного пункта управления продолжали функционировать. Это позволило операторам продолжать выполнение предписанных "симптомно-ориентированных" аварийных эксплуатационных процедур в рамках реагирования на следующие события:

- на энергоблоке 3 предохранительные клапаны автоматически открылись для защиты корпуса реактора от избыточного давления, и операторы вручную перезапустили систему охлаждения при изоляции активной зоны реактора, осуществляя управление впрыском воды в реактор и контроль за этим с использованием имеющихся источников постоянного тока. Кроме того, они заглушили другое не критически важное оборудование для продления до максимума ресурса аккумуляторных батарей постоянного тока, с тем чтобы увеличить период времени для аварийных действий в условиях обесточивания;
- на энергоблоке 5 сохранилось электропитание постоянного тока. Реактор не вырабатывал пар, поэтому удаление остаточного тепловыделения системой охлаждения высокого давления было не возможным. Безуспешно были испробованы альтернативные варианты сброса давления в корпусе реактора для того, чтобы можно было осуществлять впрыск охлаждающей воды системами низкого давления, и продолжался нагрев и рост давления в реакторе, находившемся под давлением и наполненном водой;
- на энергоблоке 6 обесточивания не произошло, так как оставалось доступным электропитание постоянного тока от одного аварийного дизель-генератора. В этой связи в рамках реагирования на потерю внешнего электроснабжения усилия были направлены на сохранение фундаментальных функций безопасности. В реакторе поддерживалось атмосферное давление, что позволяло использовать системы низкого давления для впрыска охлаждающей воды; вместе с тем некоторые из необходимых узлов этих систем были повреждены в результате наводнения и требовали проведения восстановительных работ.

2.1.2. Развитие аварии

Ядерная аварийная ситуация на энергоблоках 1 и 2

Поскольку все источники электроснабжения энергоблоков 1 и 2 вышли из строя, операторы не могли получить информацию с контрольных приборов, чтобы определить, работают ли надлежащим образом и функционируют ли вообще системы безопасности, обеспечивая реализацию фундаментальных функций безопасности³⁷. Будучи не в состоянии определить уровень воды в реакторе и рабочее состояние систем охлаждения, операторы станции объявили, что фундаментальная функция безопасности, обеспечивающая охлаждение активной зоны, была потеряна. Далее, центр аварийного реагирования на площадке станции сообщил внешним организациям, руководству ТЕРКО и соответствующим государственным органам, что на энергоблоках 1 и 2 возникли условия ядерной аварийной ситуации вследствие "неспособности системы аварийного охлаждения активной зоны осуществлять впрыск воды", согласно определению, содержащемуся в регулирующих положениях [21].

Принятие стратегии управления тяжелой аварией

Персонал в центре аварийного реагирования на площадке станции приступил к выполнению требований действующего руководства по управлению тяжелыми авариями, и операторы в общем блочном пункте управления энергоблоков 1 и 2 задействовали технологический регламент по эксплуатации в условиях тяжелой аварии. Поскольку охлаждение активной зоны оказалось, по-видимому, под угрозой, стратегия управления аварией была в основном построена на впрыске воды в реакторы в целях предотвращения или смягчения последствий повреждения ядерного топлива. Были определены два варианта впрыска воды в реакторы:

- использование систем, могущих осуществлять прямую подачу воды в реакторы даже при высоком давлении, что требовало восстановления электропитания переменного тока;
- использование альтернативного оборудования, например, пожарных автомобилей и стационарного пожарного насоса с дизельным приводом, способных подавать воду при низком давлении, для чего необходимо было сбросить давление в реакторах и соединить трубопроводы систем пожаротушения на впрыск воды в активную зону³⁸.

Центр аварийного реагирования на площадке станции принял стратегию охлаждения активной зоны, предусматривавшую использование стационарного пожарного насоса с дизельным приводом и пожарных автомобилей для подачи воды в реакторы через противопожарную систему наряду с подключением временных источников питания.

³⁷ Действие фундаментальной функции безопасности, относящейся к управлению реактивностью, было подтверждено еще до полного обесточивания станции показаниями приборов, свидетельствовавшими о том, что управляющие стержни были введены в активную зону и реакция деления была остановлена.

³⁸ Противопожарная система была спроектирована прежде всего для пожаротушения и залива водой защитной оболочки, а не для впрыска воды в реактор.

Данная стратегия управления аварией должна была осуществляться в приоритетном порядке на энергоблоках 1 и 2 и с некоторыми изменениями предназначалась для применения на всех других энергоблоках. Например, на энергоблоке 5 действия по управлению аварией предусматривали восстановление электроснабжения переменным током путем использования имеющейся соединительной линии³⁹ с работавшим дизель-генератором энергоблока 6.

Состояние охлаждения активной зоны на энергоблоках 1 и 2

Непосредственно перед тем, как на станцию обрушились волны цунами, изоляционный конденсатор энергоблока 1 был отключен операторами в соответствии с установленными эксплуатационными процедурами с целью регулирования скорости охлаждения реактора. Это было сделано путем закрытия регулирующих клапанов (расположенных за пределами первичной защитной оболочки и работающих на постоянном токе, как показано во вставке 2.2). Приблизительно через 2,5 часа после потери показаний контрольных приборов, 11 марта в 18:18, было обнаружено, что некоторые индикаторы состояния этих регулирующих клапанов функционировали, подтверждая, что регулирующие клапаны были закрыты. Операторы попытались подключить изоляционный конденсатор путем открытия этих клапанов. Однако изоляционный конденсатор не функционировал, что указывало на то, что работающие на переменном токе изолирующие клапаны внутри первичной защитной оболочки были закрыты⁴⁰. Следовательно фундаментальная функция безопасности, обеспечивающая охлаждение активной зоны энергоблока 1, была утрачена, когда изоляционный конденсатор был отключен операторами перед тем, как станция подверглась воздействию цунами, и в активной зоне энергоблока 1 с этого времени происходило повышение температуры.

Кроме того, локальные измерения (в здании реактора), проведенные в 20:07, показывали, что в реакторе по-прежнему сохранялось приближающееся к рабочему давлению 70 бар (7 МПа), что не позволяло осуществлять впрыск воды альтернативными методами, применение которых возможно лишь при давлении ниже 8 бар (0,8 МПа).

После нескольких рапортов, представленных центром аварийного реагирования на площадке в отношении состояния энергоблока 1 и других энергоблоков, с одобрения премьер-министра, 11 марта в 19:03 правительство Японии объявило ядерную аварийную ситуацию⁴¹.

³⁹ На АЭС "Фукусима-дайити" почти десятью годами ранее в порядке усовершенствования проекта и повышения возможностей управления авариями были проложены кросс-соединительные линии. Совместное использование аварийного электроснабжения энергоблока 6 было возможно исключительно в привязке к энергоблоку 5, так как указанные соединения были проложены только между парными энергоблоками, т.е. 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6.

⁴⁰ Положение клапанов оставалось неясным для операторов из-за неопределенности во времени и последовательности возникновения потери электроснабжения каждого типа, определявшей состояние изолирующих клапанов. Все клапаны изоляционного конденсатора способны оставаться в своем положении при потере электроснабжения переменного тока, однако изолирующие клапаны с приводом от переменного тока должны закрываться благодаря своей конструкции при потере управляющего напряжения (т.е. источника постоянного тока).

⁴¹ Одновременно с этим был образован штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию, расположенный в помещении канцелярии премьер-министра, и на премьер-министра были возложены обязанности генерального директора по руководству национальным реагированием в условиях ядерной аварийной ситуации.

На энергоблоке 2 операторы, также действуя в условиях отсутствия показаний в отношении работы системы охлаждения активной зоны реактора и давления и температуры в активной зоне, предположили развитие событий по наихудшему сценарию, при котором система охлаждения при изоляции активной зоны реактора не работает и температура в активной зоне энергоблока 2 повышается. В 21:01 центр аварийного реагирования на площадке станции проинформировал государственные органы о прогнозе, согласно которому в условиях отсутствия охлаждения примерно к 21:40 произойдет оголение активной зоны энергоблока 2. На основании этого прогноза премьер-министр, действуя в качестве генерального директора штаба реагирования на ядерную аварийную ситуацию, в 21:23 11 марта издал распоряжение об эвакуации населения в радиусе 3 км и укрытии в радиусе 3-10 км от промплощадки станции⁴².

Признаки оголения активной зоны энергоблока 1 были выявлены при обнаружении высоких уровней радиации⁴³ в здании реактора энергоблока 1 группой работников, направленной туда в 21:51 для выяснения эксплуатационного состояния изоляционного конденсатора. Это свидетельствовало о серьезности условий, создавшихся в реакторе энергоблока 1 и о возможном повреждении активной зоны.

Ухудшение условий локализации на энергоблоке 1

После подтверждения потери охлаждения активной зоны на энергоблоке 1 стало очевидным, что возникли дальнейшие проблемы, связанные с другой фундаментальной функцией безопасности – обеспечением локализации, когда в 23:50 11 марта удалось получить первое показание давления в защитной оболочке. Давление в защитной гермооболочке превысило максимальное проектное значение, и с учетом этой информации директор станции отдал распоряжение по подготовке к вентилированию защитной оболочки энергоблока 1. Это обусловило также необходимость оповещения об аварийной ситуации на основании "ненормального повышения давления в первичной защитной оболочке", как это определено в регулирующих положениях, относящихся к Закону о ядерных аварийных ситуациях [19].

В 02:30 и 02:45 12 марта в результате проведенных измерений в гермооболочке были зафиксированы самые высокие значения давления.

Подтверждение состояния энергоблока 2 и сосредоточение усилий на восстановлении функции безопасности энергоблока 1

В 02:10 12 марта группа смогла войти в помещение, где размещалось оборудование системы охлаждения при изоляции активной зоны реактора энергоблока 2 и получить показания параметров для определения состояния системы. В 02:55 12 марта в центр аварийного реагирования на площадке станции была направлена информация об эксплуатационном состоянии, которая позволила прояснить ранее неизвестное состояние охлаждения активной зоны энергоблока 2 – примерно через 11 часов после

⁴² Ранее в 20:50 местное правительство префектуры Фукусима издало распоряжение об эвакуации граждан в радиусе 2 км от станции после оценки объявления ядерной аварийной ситуации на национальном уровне и обсуждения неопределенностей относительно состояния АЭС с сотрудниками ТЕПКО.

⁴³ Индивидуальные дозиметры сотрудников, входивших в группу, зафиксировали уровни до 0,8 мЗв через десять секунд после их нахождения в здании.

утраты контроля на главном щите управления. Исходя из подтверждения состояния охлаждения энергоблока 2 и возникновения острой проблемы с функцией локализации энергоблока 1, директор станции принял решение сосредоточить основное внимание в управлении аварией на вентилировании энергоблока 1.

В условиях, когда разрабатывался план мер по вентилированию, осуществление стратегии управления аварией, направленной на восстановление охлаждения активной зоны энергоблока 1 путем впрыска воды с помощью пожарного насоса, оказалось невозможным, так как было обнаружено, что по состоянию на 01:48 12 марта насос был неработоспособным. Был введен в действие другой вариант, предусматривавший использование пожарных автомобилей, подсоединенных к каналу подачи воды в здании турбинного отделения (машзале), которые были размещены на промплощадке годом ранее в качестве меры противопожарной защиты с учетом опыта, приобретенного в связи с землетрясением в прибрежной зоне района Тьюэцу в префектуре Ниигата.

Повышение температуры на энергоблоке 5 и восстановление электроснабжения переменного тока

Примерно в это же время впервые через 10 часов после полного обесточивания произошло автоматическое открытие предохранительного клапана энергоблока 5, когда давление в реакторе достигло уставки открытия клапана в 01:40 12 марта. Клапан автоматически открывался и закрывался несколько раз, чтобы удерживать давление в проектном диапазоне, так как в реакторе энергоблока 5 температура продолжала повышаться в условиях недействующих мер по отводу тепла.

Предохранительные клапаны срабатывали в автоматическом режиме, ограничивая давление, но их невозможно было использовать для снижения давления, поскольку у большинства из них функция сброса давления была отключена до аварии для проведения тестов. Был рассмотрен альтернативный вариант снижения давления путем открытия небольшого клапана (вентилирования крышки) на корпусе реактора, так как для этой цели было доступно электропитание постоянного тока. Позднее, в 06:06 12 марта, приблизительно спустя 14,5 часов после обесточивания, отверстие вентилирования крышки было дистанционно открыто и оставалось открытым для сброса давления в наполненном водой корпусе реактора. Кроме того, почти через 16,5 часов после обесточивания был проложен силовой кабель между энергоблоком 5 и работающим аварийным дизель-генератором энергоблока 6, что обеспечило частичное подключение электропитания переменного тока к такому оборудованию энергоблока 5, как насосы и клапаны, функционирование которых необходимо для отвода тепла из реактора.

Альтернативное охлаждение активной зоны энергоблока 1

Давление в реакторе энергоблока 1 тем временем стало достаточно низким⁴⁴ для того, чтобы можно было реализовать альтернативный впрыск воды. Применение альтернативного метода охлаждения, а именно подачи пресной воды из пожарных

⁴⁴ Сброс давления в реакторе произошел без каких-либо действий оператора или срабатывания систем станции, и это указывало на то, что образовался неизвестный путь стравливания давления.

автомобилей в реактор энергоблока 1 для восстановления фундаментальной функции безопасности по охлаждению активной зоны, было начато в 04:00 12 марта, примерно через 12,5 часов после обесточивания. Подача воды из одного автомобиля вместимостью одна тонна продолжалась в течение приблизительно 5,5 часов с перерывами, так как пожарный автомобиль должен был периодически подъезжать к резервуару с запасом пресной воды для заправки своей цистерны. Одновременно продолжалась работа по прокладке прямого трубопровода от резервуара-источника. Позднее немногим более чем через 17,5 часов после обесточивания началась непрерывная подача пресной воды в энергоблок 1 блок непосредственно из резервуара-источника.

Вентилирование защитной оболочки энергоблока 1

Измерение давления в защитной оболочке энергоблока 1 в 04:19 12 марта показало, что оно снизилось с момента последнего измерения (в 02:45) без каких-либо действий со стороны оператора и без формирования тракта вентиляции, что свидетельствовало о том, что неизвестным образом произошел некоторый незапланированный сброс давления из защитной оболочки. Кроме того, уровни излучения, измеренные у главных ворот вскоре после этого, демонстрировали тенденцию роста⁴⁵. Это свидетельствовало также о некотором неконтролируемом радиоактивном выбросе из первичной защитной оболочки, т.е. о деградации локализации. Ухудшение радиологической обстановки на площадке и повышение давления в защитной оболочке энергоблока 1 обусловили принятие правительством в 05:44 12 марта решения расширить зону эвакуации до радиуса 10 км.

Начало работ по организации вентиляции защитной оболочки энергоблока 1 было намечено на 09:00 12 марта. Как только в 09:02 было получено подтверждение от властей префектуры Фукусима о завершении эвакуации города Окума⁴⁶, соответствующим аварийным бригадам была дана команда приступить к манипуляциям с клапанами для организации вентиляции гермооболочки энергоблока 1. Примерно через 5,5 часов работы тракт вентиляции (вставка 2.3) был сформирован, и приблизительно в 14:00 12 марта был открыт последний клапан этого тракта. Успешное завершение работы по организации вентиляции было подтверждено результатами измерений в 14:30, которые указывали на снижение давления в гермооболочке⁴⁷, и об этом было доложено соответствующим государственным учреждениям. Никаких существенных изменений в измерениях уровня излучения в пределах границ промплощадки сразу же после этого отмечено не было, однако примерно через час в 15:29⁴⁸ одним из мониторов на площадке,

⁴⁵ Произошло почти десятикратное увеличение (с 0,000 069 мЗв/ч в 04:00 до 0,000 59 мЗв/ч в 04:23).

⁴⁶ Завершение эвакуации перед началом вентиляции было согласовано с властями префектуры Фукусима.

⁴⁷ В целом с момента, когда директор станции отдал соответствующее распоряжение (около полуночи), до начала вентиляции прошло 14,5 часов. Такой срок был обусловлен высокими уровнями излучения около камеры понижения давления, где необходимо было вручную регулировать рабочее положение клапанов, и отсутствием подачи сжатого воздуха для управления клапанами.

⁴⁸ В 16:17 центр аварийного реагирования отметил, что в измерениях уровня излучения, проведенных в 15:31 недалеко от главных ворот, было зафиксировано значение 0,569 мЗв/ч, и государственные органы были оповещены об этом в 16:27, поскольку это значение превысило установленный законом критерий оповещения 0,5 мЗв/ч. Оповещение было скорректировано в 16:53 при обнаружении, что уровень излучения, измеренный в 15:29, составил 1,015 мЗв/ч, т.е. после вентиляции энергоблока 1 (но до взрыва на энергоблоке 1).

расположенных вблизи границы объекта к северо-западу от энергоблока 1 было зафиксировано показание мощности дозы излучения, равное примерно 1 мЗв/ч.

Потеря нормального охлаждения активной зоны и начало аварийного охлаждения активной зоны энергоблока 3

Во время проведения на энергоблоке 1 работ по организации вентилирования защитной оболочки пришлось внести изменения в действия на энергоблоке 3 в рамках реагирования на обесточивание станции, когда в 11:36 12 марта после почти 20,5 часов непрерывной работы прекратилось функционирование системы охлаждения при изоляции активной зоны реактора. Операторы несколько раз безуспешно пытались перезапустить эту систему; в результате в реакторе продолжалось кипение и испарение воды и уровень воды продолжал падать.

Когда уровень воды снизился до точки, при достижении которой в 12:35 автоматически включилась система впрыска охлаждающей воды под высоким давлением, предусмотренная в проекте в качестве системы аварийного охлаждения активной зоны, эта система автоматически поддерживала уровень воды в реакторе в заданном диапазоне. Однако операторы перешли на ручное управление с целью предотвращения периодического автоматического пуска и останова системы, с тем чтобы продлить период использования источника питания постоянного тока, в соответствии с процедурами реагирования в случае обесточивания станции.

Закачка морской воды и подключение источника электропитания на энергоблоке 1

Примерно после 11 часов закачки воды в активную зону энергоблока 1 запасы пресной воды в резервуаре системы пожаротушения были почти полностью исчерпаны. В результате в 14:53 12 марта подача пресной воды в энергоблок 1 прекратилась. Директор станции принял решение закачивать морскую воду в реактор энергоблока 1 из колодца клапана обратной промывки энергоблока 3, в котором накопилась морская вода после цунами, поскольку на тот момент это был единственный доступный источник воды. Работы по подготовке к закачке морской воды были завершены в течение получаса.

Примерно в то же время была завершена работа по подключению передвижных источников питания⁴⁹ к энергоблокам 1 и 2 с применением неповрежденного трансформатора энергоблока 2, и в 15:30 12 марта была восстановлена работа сети низкого напряжения для электроснабжения переменным током энергоблока 1.

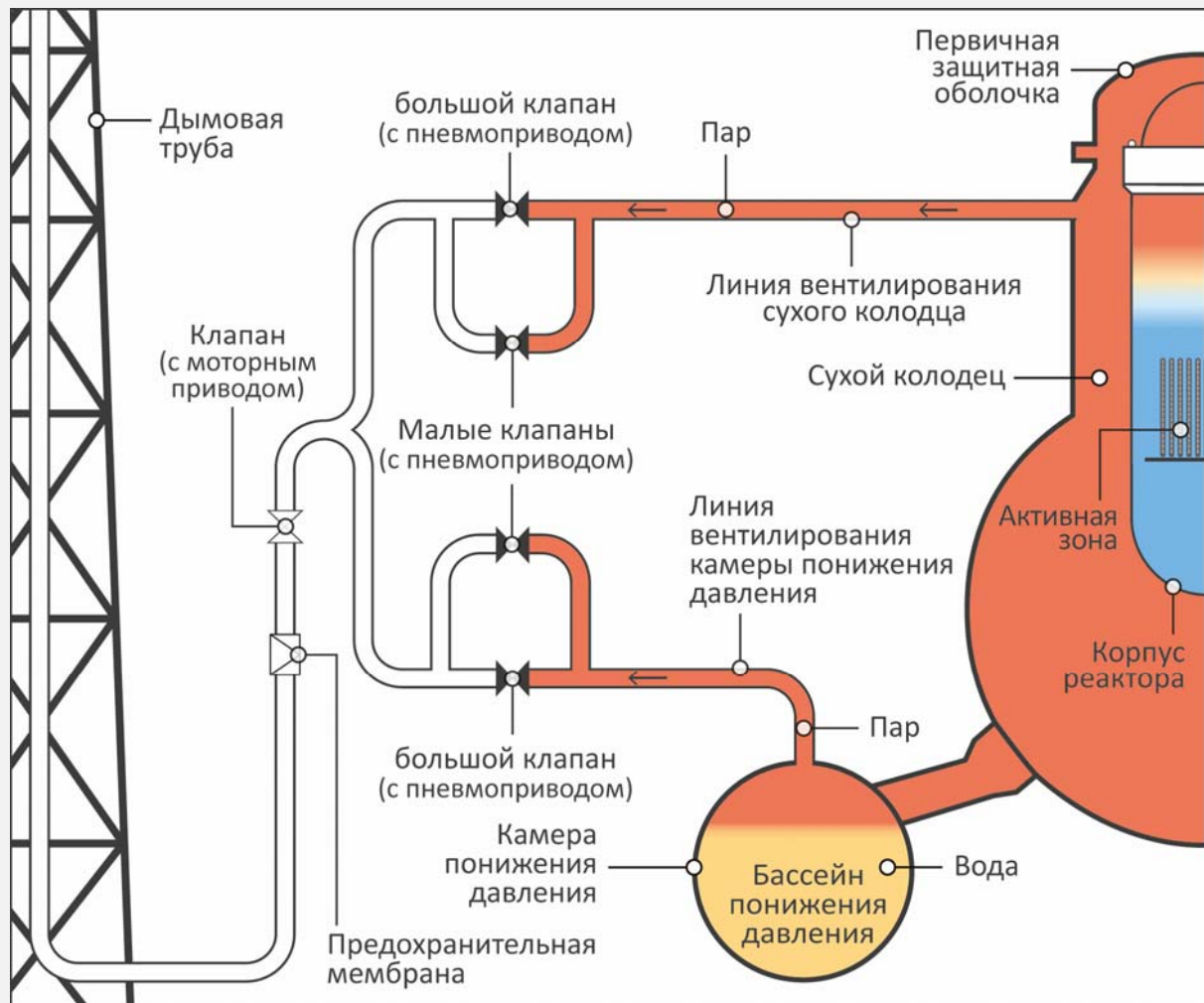
Примерно через 24 часа после обесточивания станции к энергоблоку 1 были проложены линии для впрыска морской воды и электропитания переменным током. Однако через несколько минут после этого взрыв в реакторном здании энергоблока 1 повредил обе эти линии еще до того, как началось их использование.

⁴⁹ Примерно через один час после обесточивания станции 11 марта на площадки АЭС "Фукусима-дайити" и АЭС "Фукусима-дайни" были направлены передвижные установки электропитания (низкого и высокого напряжения на базе автомобилей). Первая установка прибыла из компании "Тохоку электрик" около 22:00 11 марта, т.е. почти через шесть часов после обесточивания. В течение ночи на площадку станции прибыло дополнительное число автомобильных установок электроснабжения, направленных ТЕПКО и "Тохоку электрик", а также силами самообороны Японии. К 10:15 12 марта на месте аварии было в общей сложности 23 передвижные силовые установки.

Вставка 2.3. Вентилирование защитной оболочки

В 1990-х годах в соответствии с решением регулирующего органа в качестве меры по повышению способности противостоять тяжелым авариям на энергоблоках АЭС "Фукусима-дайити" были установлены "усиленные вентиляционные клапаны" (т.е. предохранительные клапаны с относительно толстостенными выпускными трубопроводами) [22, 23]. Назначение этих устройств заключалось в том, чтобы не допускать чрезмерного повышения давления в первичной защитной оболочке путем обеспечения вентиляции гермооболочки (см. рис. ниже). Предпочтительный тракт вентиляции проходит через камеру понижения давления, однако в целях реализации преимущества, обеспечиваемого за счет поглощения радиоизотопов водой бассейна, в тракте вентиляции предусмотрен еще один маршрут через сухую шахту. Любой из двух маршрутов можно было задействовать путем управления клапанами на блочном щите управления, регулируя таким образом объем и продолжительность разгрузки через общую дымовую трубу двух энергоблоков.

На АЭС "Фукусима-дайити" в тракте вентиляции также была предусмотрена предохранительная мембрана, разрыв которой должен происходить, когда давление в защитной оболочке превышает расчетное давление, что позволяет предотвращать преждевременное вентилирование. Базовый принцип, применяемый в Японии, сводился к тому, что в целях задержки или предотвращения прямого выброса радиоактивного материала в окружающую среду вентилирование должно производиться только в случае, когда оно становится неизбежным, и в качестве крайней меры сохранения целостности первичной защитной оболочки.



Взрыв в реакторном здании энергоблока 1

В 15:36 12 марта произошел взрыв в центральном зале (перегрузки топлива) реакторного здания энергоблока 1, который привел к разрушению верхней части здания и увечьям работников. Взрыв, по-видимому, не повредил первичную защитную оболочку, однако вторичной защитной оболочке (зданию реактора) был нанесен серьезный ущерб. Причина взрыва была неизвестна персоналу станции, однако было сделано предположение, что из активной зоны произошел выброс водорода, который неизвестным образом оказался за пределами первичной защитной оболочки. Далее центр аварийного реагирования на площадке станции потребовал провести эвакуацию персонала из энергоблоков 1–4 и с территории вокруг них, в том числе из помещений двух общих блочных пунктов управления за исключением трех сотрудников самого старшего звена.

В 18:25 12 марта примерно через три часа после взрыва на энергоблоке 1 (через четыре часа после вентилирования защитной оболочки энергоблока 1) правительство расширило радиус зоны эвакуации до 20 км.

Впрыск морской воды на энергоблоке 1

Взрыв на энергоблоке 1 не только серьезно повредил линию для впрыска морской воды и временные схемы питания переменным током, но и затруднил проведение их восстановления из-за разбросанных вокруг площадки обломков и высоких значений мощности дозы, создаваемых радиоактивно загрязненными обломками. После эвакуации, длившейся примерно два часа, ремонтные бригады вернулись на площадку для восстановления или замены поврежденного оборудования.

По окончании ремонта и после замены поврежденного оборудования в 19:04 12 марта была начата и затем продолжена⁵⁰ подача воды в реактор энергоблока 1 с использованием пожарных автомашин и морской воды из колодца клапана обратной промывки на энергоблоке 3. Позднее был добавлен раствор борной кислоты с целью исключения повторной критичности и обеспечения действия фундаментальной функции безопасности, обеспечивающей управление реактивностью. В целом в период между впрыском пресной воды и началом подачи морской воды активная зона энергоблока 1 оставалась без охлаждения в течение почти четырех часов.

Потеря охлаждения активной зоны на энергоблоке 3

В первые полтора дня после землетрясения и цунами в приоритетном порядке осуществлялась работа по поддержанию фундаментальных функций безопасности на энергоблоке 1, однако утром в воскресенье, 13 марта, стала вызывать тревогу ситуация с охлаждением активной зоны на энергоблоке 3.

После 14 часов непрерывной работы аварийной системы впрыска охлаждающей воды под высоким давлением у операторов энергоблока 3 появились вызывающие тревогу

⁵⁰ Имел место случай, когда, как было установлено в результате проведенных расследований [7], один из руководителей ТЕРКО, который находился в качестве представителя компании в канцелярии премьер-министра, по телефону отдал распоряжение директору станции не производить закачку морской воды на энергоблоке 1. Это указание выполнено не было, и закачка морской воды не прекращалась.

вопросы в отношении надежности и возможного отказа турбинной системы привода насоса впрыска, которая к тому времени работала при низком давлении пара в реакторе. Проблема была связана с возможностью выхода турбины из строя и возникновением пути утечки из корпуса реактора. Это могло привести к неконтролируемому выбросу радиоактивного пара непосредственно за пределы первичной защитной оболочки. Указанная проблема приобрела еще более острый характер, когда турбина автоматически не остановилась, как предусматривалось в проекте, при падении давления в реакторе ниже значения, при котором должно происходить ее автоматическое отключение.

В связи с этим операторы приняли решение прекратить подачу охлаждающей воды через систему впрыска под высоким давлением и вместо этого использовать альтернативные средства закачки при низком давлении (пожарный насос с приводом от дизельного двигателя). Операторы рассчитывали, что это могло быть сделано без прерывания работы системы охлаждения активной зоны, так как давление в реакторе уже было ниже давления, создаваемого дизельным пожарным насосом, и его можно было поддерживать на низком уровне путем использования клапанов сброса давления. В результате операторы отключили аварийную систему впрыска охлаждающей воды под высоким давлением на энергоблоке 3 и затем стали пытаться открыть клапаны сброса давления.

Все попытки открыть клапаны сброса давления, однако, оказались безрезультатными, и давление в реакторе превысило уровень, при котором можно было производить закачку от пожарного насоса с приводом от дизельного двигателя, и охлаждение активной зоны энергоблока 3 прекратилось примерно через 35 часов после полного обесточивания станции. Столкнувшись с таким препятствием, операторы в течение почти 45 минут пытались снова задействовать схему закачки через аварийную систему впрыска охлаждающей воды под высоким давлением, однако эти попытки оказались безуспешными. В 05:10 13 марта ввиду невозможности обеспечить охлаждение реактора было доложено об аварийной ситуации на энергоблоке 3 на основании "потери функции охлаждения реактора", как это определено в регулирующих положениях, относящихся к Закону о ядерных аварийных ситуациях [19]. Активная зона энергоблока 3 оставалась без охлаждения в течение следующих нескольких часов, и энергоблок 3 стал следующим блоком, на котором было утрачено охлаждение активной зоны.

После этой потери охлаждения директор станции отдал распоряжение в 05:15 использовать альтернативный метод впрыска воды для охлаждения активной зоны энергоблока 3 с помощью пожарных автомобилей. В связи с ухудшением условий на объекте он распорядился наладить вентилирование защитной оболочки на энергоблоке 3.

Альтернативное охлаждение активной зоны и вентилирование защитной оболочки энергоблока 3

С энергоблоков 5 и 6 на энергоблок 3 были направлены пожарные автомашины, которые начали работать в 05:21 13 марта, обеспечивая подачу морской воды в активную зону энергоблока 3 из колодца клапана обратной промывки энергоблока 3 по трубопроводам системы пожаротушения. В 06:30 с АЭС "Касивадзаки-Карива" прибыл дополнительный пожарный автомобиль. В течение часа было завершено устройство

линии нагнетания морской воды. Однако ее использование было отложено по распоряжению директора станции ввиду получения указания из штаб-квартиры ТЕПКО⁵¹. В результате линия впрыска была подключена обратно к источнику борированной пресной воды посредством трубопровода системы пожаротушения с использованием пожарных автомашин.

Для снижения давления в реакторе до уровня ниже давления на насосе пожарного автомобиля с целью продолжения закачки воды необходимо было обеспечить управление клапанами сброса давления. Для этого с автомобилями сняли аккумуляторные батареи постоянного тока, которые были собраны в помещении общего блочного пункта управления энергоблоков 3 и 4.

В 08:41 13 марта в течение немногим более трех часов также была завершена работа по устройству линии вентилирования на энергоблоке 3, при этом давление в защитной оболочке было по-прежнему ниже расчетного и не достаточным для разрыва предохранительной мембраны, как предусматривалось в проекте. В процессе продолжавшихся действий по снижению давления в реакторе путем открытия предохранительного клапана операторы в главном пункте управления в 09:08 наблюдали падение давления в реакторе энергоблока 3, хотя индикаторы состояния клапанов достоверно не показывали, что клапаны были в открытом положении. Вместе с этим падением давления в корпусе реактора в первичной защитной оболочке был зафиксирован всплеск давления, что указывало на выброс, произошедший из корпуса реактора в защитную оболочку. В конечном итоге в 09:20 13 марта давление в защитной оболочке превысило максимальную расчетную величину, и далее имело место его быстрое падение, что свидетельствовало о том, что произошло вентилирование защитной оболочки энергоблока 3 в результате разрыва предохранительной мембраны.

После стравливания давления в реакторе путем открытия дополнительных предохранительных клапанов давление в реакторе упало ниже величины давления на насосе пожарной машины, и в 09:25 после более четырех часов без охлаждения была начата закачка борированной пресной воды в реактор энергоблока 3.

Вентилирование защитной оболочки энергоблока 3 продолжалось недолго до тех пор, пока клапан на линии вентилирования не закрылся⁵² из-за отсутствия достаточной подачи воздуха для его удержания в открытом положении. Благодаря работе, на выполнение которой потребовалось 6,5 часов, клапан был снова открыт с помощью передвижного компрессора.

Предупредительные меры на энергоблоке 2 для сохранения фундаментальных функций безопасности

Ввиду осложнения условий поддержания фундаментальных функций безопасности на энергоблоках 1 и 3 директор станции примерно в 10:15 13 марта отдал распоряжение

⁵¹ Директор отдела внешнего аварийного центра в штаб-квартире ТЕПКО, присутствовавший на совещании в канцелярии премьер-министра, ранее по телефону задал директору станции вопрос о наличии запасов пресной воды. Он проинформировал директора станции о мнении участников совещания, которые считали, что нагнетание пресной воды следует продолжать как можно дольше. Директор станции интерпретировал эту информацию как указание не закачивать морскую воду до тех пор, пока доступна пресная вода.

⁵² Как было обнаружено спустя два часа.

развернуть в упреждающем порядке линию вентилирования на энергоблоке 2. Цель этого заключалась в том, чтобы, воспользовавшись сложившимися благоприятными – по сравнению с другими энергоблоками – радиационными условиями, с учетом общей тенденции⁵³ на площадке станции провести соответствующую работу в реакторном здании энергоблока 2, где необходимо было выполнить манипуляции с клапанами. Эта работа была выполнена в течение 45 минут, однако вентилирования не произошло, так как давление внутри защитной оболочки энергоблока 2 не достигло достаточно высокого уровня для разрыва предохранительной мембраны.

Примерно в 12:05 директор станции распорядился также принять предупредительные меры с целью обеспечения закачки морской воды в энергоблок 2 в случае выхода из строя функционирующей системы охлаждения этого энергоблока. Для этого пожарные автомобили необходимо было подсоединить к трубопроводам систем пожаротушения энергоблока 2 для закачки воды при необходимости из колодца клапана обратной промывки энергоблока 3.

Впрыск морской воды на энергоблоке 3 и увеличение уровней радиации

В 12:20 13 марта, когда запасы пресной воды в резервуарах системы пожаротушения были исчерпаны, директор станции принял решение закачивать морскую воду в реактор энергоблока 3. Пожарные автомашины были передислоцированы, и примерно через час в 13:12 было начато нагнетание морской воды из колодца клапана обратной промывки энергоблока 3.

В 14:15 13 марта вблизи границы промплощадки была зафиксирована высокая мощность дозы излучения (около 1 мЗв/ч), и в 14:23 соответствующие государственные учреждения были оповещены о «ненормальном повышении уровня излучения у границы площадки», как это определено в регулирующих положениях, относящихся к Закону о ядерных аварийных ситуациях [19]. Через пятнадцать минут после этого мощность дозы излучения превысила уровень 100–300 мЗв/ч у проходной здания реактора энергоблока 3. Как только измеренные значения мощности дозы в секции энергоблока 3 общего блочного пункта управления энергоблоков 3 и 4 превысили 12 мЗв/ч, сотрудники дежурной смены перешли в секцию энергоблока 4.

Исходя из этих уровней дозы, в центре аварийного реагирования на площадке станции был сделан вывод, что произошел выброс радиоактивных газов из реактора энергоблока 3, что, в свою очередь, означало, что имел место также выброс водорода. Учитывая возможность взрыва водорода подобно тому, как это произошло на энергоблоке 1, директор станции принял решение в 14:45 временно эвакуировать работников из общего блочного пункта управления энергоблоков 3 и 4 и с территории, прилегающей к энергоблоку 3.

Территория, подлежащая эвакуации, включала также участок около колодца клапана обратной промывки энергоблока 3, и в результате были прекращены работы по нагнетанию воды. Распоряжение об эвакуации было отменено в 17:00, и работники

⁵³ В период между 05:30 и 10:50 13 марта на расстоянии примерно 1 км от зданий реакторов энергоблоков 1–4 около главных ворот было зарегистрировано наличие нейтронов, что свидетельствовало о возможном нарушении целостности защитной оболочки, хотя источник нейтронов достоверно известен не был.

вернулись к колодцу клапана обратной промывки энергоблока 3 для продолжения работы по налаживанию подачи воды для впрыска и вентилирования.

Формирование охлаждения активной зоны на энергоблоке 5

В 20:48 13 марта электроснабжение от аварийного дизель-генератора энергоблока 6 было подведено к насосу обычной системы отвода тепла низкого давления на энергоблоке 5, и в 20:54 оно было включено. Была сформирована линия впрыска воды в реактор энергоблока 5 через одну из двух систем отвода остаточного тепловыделения, и через 53 часа после обесточивания станции были открыты клапаны труб, подсоединенных к системе конденсатной подпиточной воды. Однако впрыск воды не удалось осуществить, поскольку давление в реакторе постепенно возрастало и превысило давление на стороне нагнетания. В ответ с помощью источников постоянного тока и азота был открыт предохранительный клапан. Это позволило снизить давление в корпусе реактора, и в 05:30 14 марта была начата и продолжалась далее закачка воды в реактор энергоблока 5⁵⁴.

Потеря охлаждения морской водой на энергоблоках 1 и 3

Нагнетание морской воды в энергоблоки 1 и 3 из колодца клапана обратной промывки энергоблока 3 продолжалось в понедельник, 14 марта, и уровень воды в колодце понизился до точки, при достижении которой в 01:10 закачка была прекращена. Далее заборный шланг был опущен глубже в колодец, и оставшаяся вода в колодце была зарезервирована для впрыска в энергоблок 3, возобновленного два часа спустя. Охлаждение активной зоны энергоблока 1 было временно остановлено до тех пор, пока не будет восполнен запас воды в колодце.

В течение последующих часов был отмечен рост давления в защитной оболочке энергоблока 3, и уровень воды в реакторе продолжал снижаться. В 06:20 14 марта датчик уровня воды в реакторе энергоблока 3 зашкалило по нижнему пределу, указывая операторам на то, что произошло оголение активной зоны реактора. Директор станции в очередной раз отдал распоряжение об эвакуации всех работников, и работы по наполнению водой колодца были прекращены в связи с опасностью возможного взрыва водорода на энергоблоке 3.

К 07:00 давление в защитной оболочке энергоблока 3 достигло максимума, однако в 07:20 немного снизилось. Оно оставалось затем стабильно ниже максимальной расчетной величины. Далее директор станции принял решение возобновить работы по прокладке линии для пополнения колодца клапана обратной промывки океанской водой. В следующие два-четыре часа были восстановлены линии подачи морской воды на всех энергоблоках, и началось пополнение колодца с использованием двух дополнительных пожарных автомашин для подачи воды с забором из океана и автоцистерн японских сил самообороны, прибывших на промплощадку в 10:26 для закачки воды в колодец.

⁵⁴ Кроме того, с аварийного дизель-генератора энергоблока 6 начал поступать переменный ток для работы системы регулирования давления в здании реактора. Немногом более чем через два дня после обесточивания станции давление в реакторном здании опустилось до значения ниже атмосферного, обеспечивая вторичную локализацию.

Подготовка к возобновлению впрыска морской воды в энергоблок 1 была завершена, когда все работы, в том числе впрыск морской воды в реактор энергоблока 3 пришлось прекратить из-за взрыва на энергоблоке 3. Взрывом были повреждены шланги и пожарные автомобили около колодца клапана обратной промывки энергоблока 3, и потребовалась временная эвакуация работников с открытых территорий.

Взрыв в реакторном здании энергоблока 3

В 11:01 14 марта произошел взрыв в верхней части реакторного здания энергоблока 3, который привел к разрушению конструкции над центральным залом (перегрузкой топлива) и увечьям работников. В результате взрыва, в дополнение к разрушению альтернативной схемы впрыска воды, также была утрачена возможность вентилирования защитной оболочки на энергоблоке 2, поскольку взрывом была повреждена ранее проложенная линия вентилирования энергоблока 2. После взрыва обнаружилось, что изолирующий клапан линии вентилирования энергоблока 2 закрыт и не может быть возвращен в открытое положение.

Возобновление охлаждения морской водой на энергоблоках 1 и 3

После примерно двухчасового перерыва были вновь начаты работы по восстановлению линии впрыска морской воды – на этот раз с забором прямо из океана. После восстановления линий впрыска морской воды в первую очередь была возобновлена на энергоблоке 3 во второй половине дня 14 марта и позднее вечером на энергоблоке 1. Активные зоны оставались без впрыска охлаждающей воды: 5 часов на энергоблоке 3 и 18 часов на энергоблоке 1.

Потеря охлаждения и впрыска морской воды на энергоблоке 2

Примерно в 13:00 14 марта энергоблок 2 стал следующим блоком, на котором произошла потеря охлаждения, при этом измерения свидетельствовали о том, что в реакторе уровень воды снизился и давление возросло. Это указывало на возможный отказ системы охлаждения при изоляции активной зоны реактора энергоблока 2; к этому выводу пришли операторы блока и центр аварийного реагирования на площадке станции. В результате в отношении энергоблока 2 был представлен рапорт о "потере функций охлаждения реактора", как это предусмотрено в постановлениях, касающихся Закона о ядерных аварийных ситуациях [19].

В 13:05 после отказа системы охлаждения в период изоляции активной зоны реактора были предприняты попытки закачки морской воды через противопожарную систему, однако давление в реакторе было слишком высоким для использования насосов пожарных автомобилей. Стало очевидным, что без закачки воды в очень скором времени может произойти оголение активной зоны. Поэтому было принято решение использовать предохранительные клапаны для сброса давления, с тем чтобы можно было осуществить впрыск воды при низком давлении, признавая при этом, что возможны отрицательные последствия для защитной оболочки, связанные с выпуском пара из реактора в защитную оболочку⁵⁵.

⁵⁵ Камера понижения давления первичной защитной оболочки была уже почти в состоянии насыщения.

Примерно в 20:00 14 марта после стравливания давления из корпуса реактора и заправки топливом пожарных машин была начата закачка морской воды на энергоблоке 2 через противопожарную систему сначала с помощью одного, а затем вскоре двух пожарных автомобилей.

Ухудшение состояния системы локализации энергоблока 2

Примерно в 21:55 14 марта ставшее работоспособным оборудование радиационного мониторинга внутри защитной оболочки показало, что уровни излучения в гермооболочке энергоблока 2 резко возросли по сравнению с результатами последних измерений, произведенных за восемь часов до этого⁵⁶. Кроме того, после 22:30 14 марта уровни давления как в реакторе, так и в защитной оболочке начали расти. В 22:50 давление в защитной оболочке превысило расчетное давление, что обусловило объявление аварийной ситуации на энергоблоке 2 на основании "ненормального повышения давления в первичной защитной оболочке", как это предусмотрено в постановлениях, касающихся Закона о ядерных аварийных ситуациях [19]. В 23:39 об этом было доложено соответствующим правительственным органам. В течение следующих трех-четырех часов были открыты дополнительные предохранительные клапаны для снижения давления в реакторе, с тем чтобы можно было производить впрыск воды в реактор энергоблока 2. Далее давление в защитной оболочке возросло еще больше, при этом оперативной бригаде, которой было поручено проложить отдельную линию вентилирования для сброса давления из защитной оболочки, не удалось открыть клапаны вентилирования. С целью сохранения функции локализации и скорейшего обеспечения вентилирования, сотрудники ТЭПКО в станционном и внешнем аварийных центрах приняли решение провести вентилирование непосредственно из сухой шахты, сознавая, что это приведет к увеличению радиоактивных выбросов в окружающую среду. Однако клапаны вентилирования сухой шахты также не удалось открыть, и в результате оказалось невозможным провести вентилирование энергоблока 2.

В 04:17 во вторник, 15 марта, соответствующие государственные учреждения были уведомлены о том, что сброс давления в защитной оболочке энергоблока 2 и реакторе не был осуществлен и что давление в защитной оболочке продолжало расти.

События на энергоблоках 2 и 4 и последующая эвакуация с территории площадки станции

В 06:14 15 марта на площадке станции прозвучал взрыв, и персонал, находившийся в общем блочном пункте управления энергоблоков 1 и 2, ощутил сотрясения. За этим последовало падение давления в защитной оболочке энергоблока 2 (камере понижения давления). Персонал в помещении главного щита управления сначала доложил в центр аварийного реагирования на площадке станции, что давление в камере понижения

⁵⁶ Было зарегистрировано 5000-кратное увеличение уровней излучения в атмосфере защитной оболочки (с 1,08 мЗв/ч до 5360 мЗв/ч) и 40-кратное увеличение уровней излучения в камере понижения давления внутри защитной оболочки (с 10,3 мЗв/ч до 383 мЗв/ч). Кроме этого, в промежутке между 21:00 14 марта и 01:40 15 марта снова у главных ворот было зафиксировано нейтронное излучение. Сотрудники ТЭПКО предположили, что нейтроны появились в результате спонтанного деления актинидов, выброс которых произошел после повреждения активной зоны в одном из трех реакторов.

давления снизилось почти до атмосферного⁵⁷, что указывало на возможную потерю функции локализации.

Эта информация свидетельствовала о возможном отказе защитной гермооболочки и указывала на вероятность неконтролируемых выбросов из энергоблока 2. На этом основании центр аварийного реагирования на площадке станции отдал распоряжение о временной эвакуации всех работников из всех энергоблоков в сейсмостойкое здание, в котором располагался станционный аварийный центр. Примерно в то же время, когда произошло событие, связанное с камерой понижения давления энергоблока 2, от эвакуирующегося персонала поступило сообщение о взрыве в верхней части реакторного здания энергоблока 4.

После указанных событий на энергоблоках 2 и 4 все сотрудники, за исключением персонала, необходимого для осуществления мониторинга и аварийного реагирования, получили указание от директора станции передислоцироваться в безопасное в радиологическом отношении место. Примерно 650 человек исполнили это указание как распоряжение об эвакуации с площадки станции и прибыли на АЭС "Фукусима-дайни". Приблизительно 50-70 сотрудников⁵⁸, включая директора станции, остались на площадке АЭС "Фукусима-дайни". В 07:00 15 марта соответствующие государственные учреждения были информированы об эвакуации центром аварийного реагирования станции.

Примерно через два часа было отмечено, что наблюдался белый дым (или пар), выходящий из реакторного здания энергоблока 2 в районе пятого этажа. В 09:00 15 марта на главных въездных воротах путем измерений была зафиксирована мощность дозы излучения, равная почти 12 мЗв/ч, – самый высокий измеренный уровень с начала аварии. Два часа спустя в 11:00, ввиду высоких уровней излучения, государственные органы издали распоряжение о том, чтобы все жители в радиусе 20-30 км от АЭС "Фукусима-дайни" оставались в укрытии внутри помещений.

При развитии этой последовательности событий фундаментальные функции безопасности на энергоблоках 1–3 были утрачены или серьезно нарушены (рис. 2.5), и дальнейшие усилия были направлены на оценку повреждений и восстановление и стабилизацию этих функций.

2.1.3. Усилия по стабилизации

Пополнение водой бассейна выдержки отработавшего топлива энергоблоков 3 и 4

В среду 16 марта во второй половине дня был проведен дистанционный визуальный осмотр с вертолета с целью выяснения состояния бассейнов выдержки отработавшего топлива энергоблоков 3 и 4. Этот осмотр подтвердил, что в бассейне выдержки отработавшего топлива энергоблока 4 имеется достаточное количество воды, в которую погружены топливные сборки; в то же время в отношении бассейна выдержки отработавшего топлива энергоблока 3 в результате осмотра не было получено

⁵⁷ После повторной проверки показаний было подтверждено, что давление в этой камере вышло за пределы шкалы, однако давление в сухой шахте энергоблока 2 существенно не снизилось.

⁵⁸ Как сообщалось в различных докладах о результатах исследований, точное число сотрудников не может быть определено [6, 8]. Отмечается также, что сотрудники, переместившиеся на АЭС "Фукусима-дайни", в тот же день стали возвращаться на промплощадку.

убедительных данных, что обусловило приоритетность проведения работ по пополнению этого бассейна.

Первая заливка воды в бассейн выдержки отработавшего топлива энергоблока 3 была осуществлена в период между 09:30 и 10:00 17 марта вертолетами, которые сбрасывали морскую воду с воздуха. Позднее в тот же день между 19:05 и 20:07 пресную воду заливали в этот бассейн методом распыления с помощью водометов. С 20 марта была начата заливка распылением морской или пресной воды в бассейн выдержки отработавшего топлива энергоблока 4⁵⁹.

В марте периодически продолжалось пополнение этих бассейнов распылением морской и пресной воды с использованием для этого водометов и пожарных машин или автобетононасосов во избежание осушения отработавшего топлива. В апреле и в течение значительного времени в мае 2011 года также использовалась система охлаждения и очистки бассейнов выдержки отработавшего топлива.

Восстановление электроснабжения и окончание периода обесточивания станции

В период между 17 и 20 марта осуществлялась работа по прокладке временных силовых кабелей к энергоблокам 1 и 2. В 15:46, в воскресенье 20 марта, почти ровно через девять дней после полного обесточивания станции было восстановлено внешнее электроснабжение энергоблоков 1 и 2 посредством этой временной схемы электропитания переменным током, что означало окончание периода обесточивания энергоблоков 1 и 2.

⁵⁹ Тот же подход использовался для пополнения воды в бассейне выдержки отработавшего топлива энергоблока 1. Поскольку реакторное здание энергоблока 2, в котором размещен бассейн выдержки отработавшего топлива энергоблока 2, осталось целым, метод распыления не мог быть использован в случае энергоблока 2.

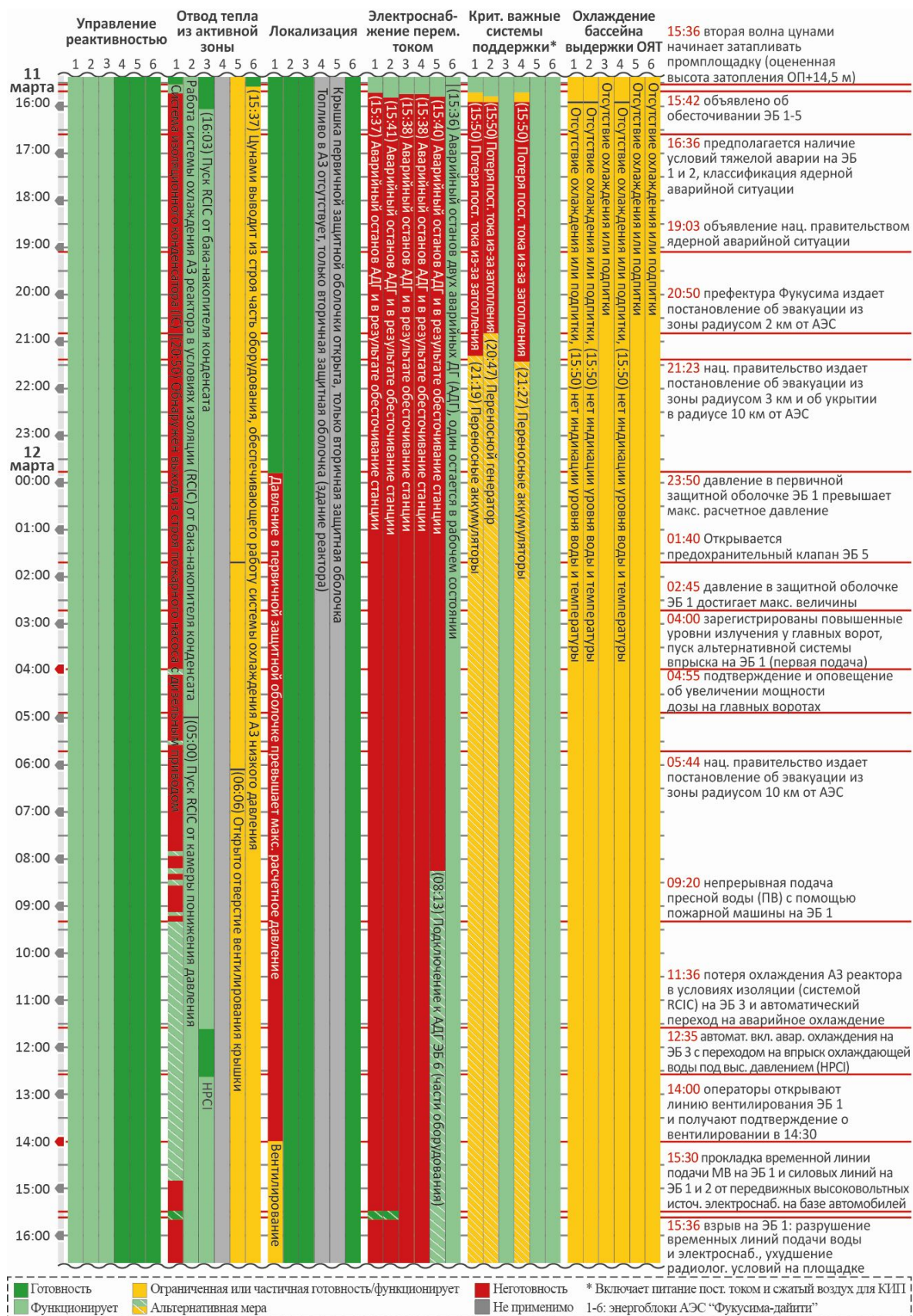


РИС. 2.5. Фундаментальные и вспомогательные функции безопасности в процессе реагирования на аварию на АЭС "Фукусима-дайити" (11-15 марта 2011 года).

На энергоблоке 6 было восстановлено электроснабжение системы охлаждения второго водоохлаждаемого аварийного дизель-генератора путем подсоединения силовой линии к работающему генератору с воздушным охлаждением. В 04:22 19 марта водоохлаждаемый аварийный дизель-генератор снова вступил в строй, обеспечивая электропитание энергоблоков 5 и 6 переменным током.

Обесточивание энергоблоков 3 и 4, продолжавшееся в течение более чем 14 суток, окончилось, когда 26 марта было восстановлено временное внешнее электроснабжение этих двух блоков.

Достижение стабильных условий

Энергоблок 5 стал первым блоком, переведенным в режим холодного останова после того, как в 12:25 20 марта заработала система нормального отвода остаточного тепловыделения на этом блоке. Температура в реакторе опустилась до значения ниже 100°C в течение примерно двух часов, и в 14:30 20 марта 2011 года, почти через девять дней после начала аварии, на энергоблоке 5 был достигнут режим холодного останова.

В тот же день в 18:48 была запущена система нормального отвода остаточного тепловыделения на энергоблоке 6 аналогично тому, как это было сделано в случае энергоблока 5. Температура в реакторе снизилась до значения ниже 100°C менее чем за один час, и в 19:27 20 марта энергоблок 5 был переведен в режим холодного останова (рис. 2.6).

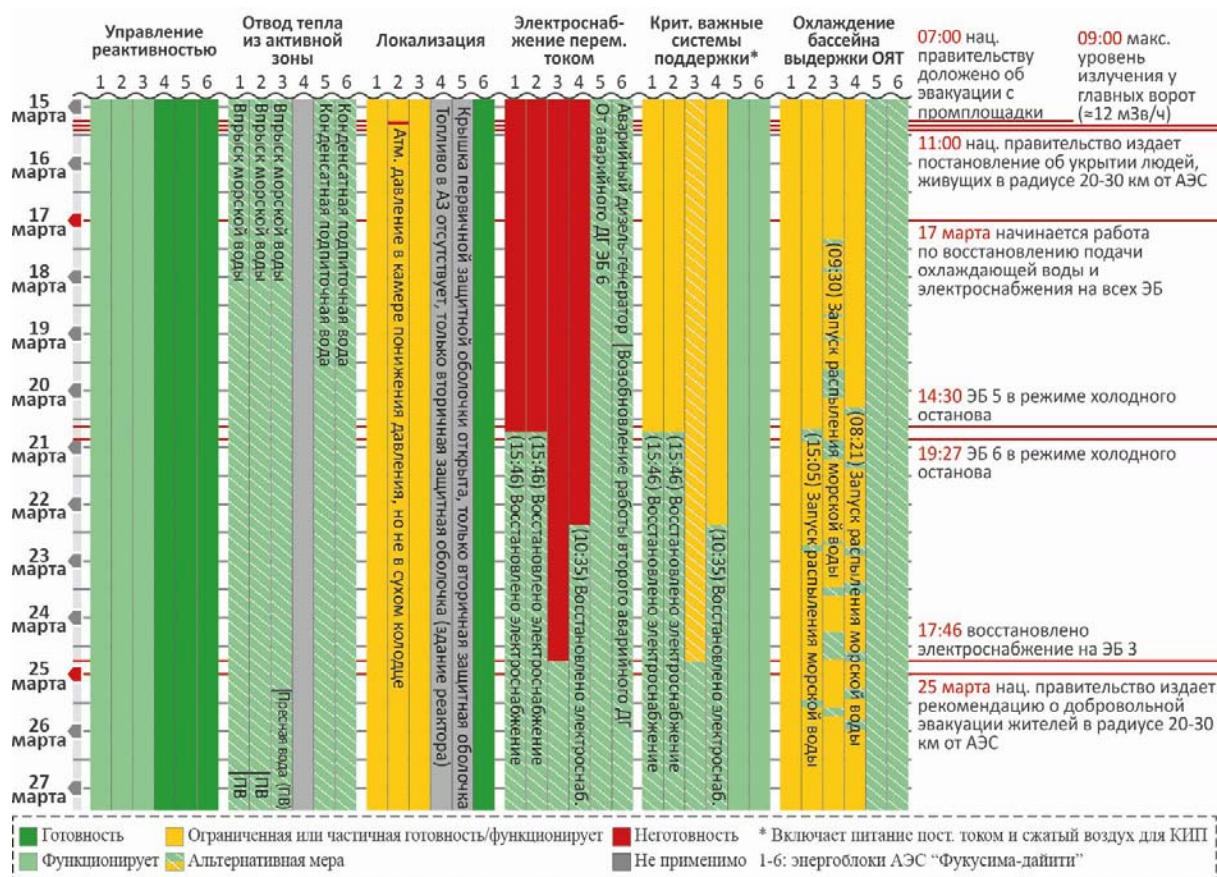


РИС. 2.6. Временное восстановление фундаментальных функций безопасности на АЭС "Фукусима-дайити".

17 апреля 2011 года ТЕРКО опубликовала план действий для энергоблоков 1–3: "Дорожную карту восстановления после аварии на АЭС «Фукусима-дайити» компании ТЕРКО" [24]. Эта дорожная карта включает меры, которые должны быть приняты для: обеспечения стабильного охлаждения реакторов и отработавшего топлива; сокращения и контроля радиоактивных выбросов; контроля накопления водорода; предупреждения восстановления критичности. Эти меры были осуществлены в течение девяти месяцев после аварии.

Дорожная карта установила два условия, определяющие окончание аварийного состояния или "состояния холодного останова"⁶⁰: достижение значительного снижения радиологических выбросов и стабильное сокращение мощности доз излучения; достижение заданных значений некоторых параметров, предписываемых дорожной картой. 19 июля правительство Японии и ТЕРКО объявили, что первое условие было выполнено на энергоблоках 1–3, и 16 декабря 2011 года, что на этих энергоблоках было достигнуто второе условие. Этим заявлением был официально⁶¹ подтвержден факт окончания "аварийной" фазы событий на АЭС "Фукусима-дайити".

⁶⁰ Определение термина "состояние холодного останова" было дано правительством Японии в то время специально для реакторов АЭС "Фукусима-дайити". Оно отличается от определения термина, принятого МАГАТЭ и другими организациями.

⁶¹ В соответствии с критериями, установленными правительством Японии в то время.

Вместе с тем некоторые нестабильные условия сохранялись на станции, например, колебания температуры, которые объяснялись неисправностями контрольно-измерительных приборов, или колебания результатов измерения характеристик продуктов деления. Более стабильные стационарные параметры были достигнуты в период с марта по апрель 2012 года, когда продолжалось осуществление послеаварийных мероприятий. Кроме того, остаются актуальными проблемы обращения с отходами, например, в связи с накоплением радиоактивной воды в результате проникновения подземных вод в здания и периодическими отказами оборудования. На момент подготовки настоящего доклада правительство Японии рассматривает АЭС "Фукусима-дайти" как "определенную установку, являющуюся объектом аварии"⁶².

2.2. СООБРАЖЕНИЯ, КАСАЮЩИЕСЯ ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

2.2.1. Уязвимость станции к воздействию внешних событий

Землетрясение, произошедшее 11 марта 2011 года, вызвало сейсмические колебания грунта, которые воздействовали на конструкции, системы и элементы станции. За ним последовала серия волн цунами, одна из которых затопила площадку. Амплитуда зарегистрированных колебаний грунта и высота волн цунами значительно превысили предполагаемые масштабы опасностей, из которых исходили при первоначальном проектировании станции. Несколько энергоблоков АЭС "Фукусима-дайти" подверглись воздействию землетрясения и связанных с ним волн.

Сейсмическая опасность и высота волн цунами, постулированные при первоначальном проектировании, оценивались главным образом на основе исторических сейсмических данных и информации о недавних цунами в Японии. В этой первоначальной оценке недостаточно учитывались геотектонические критерии, и повторная оценка с использованием таких критериев не проводилась.

До этого землетрясения Японский желоб классифицировался как зона субдукции, характеризующая частыми землетрясениями, относящимися к классу с магнитудой 8; землетрясение магнитудой 9,0 у побережья префектуры Фукусима не рассматривалось японскими учеными как вероятное. Однако за последние несколько десятилетий аналогичные или еще большие магнитуды были зарегистрированы в различных районах со сходными тектоническими условиями.

Свидетельств того, что сейсмические колебания грунта, вызванные землетрясением 11 марта 2011 года, оказали воздействие на основные функции обеспечения безопасности станции, не обнаружено. Это объясняется консервативным подходом к учету землетрясений при проектировании и строительстве АЭС в Японии, благодаря которому станция имела достаточные запасы безопасности. Вместе с тем первоначальные проектные решения не обеспечивали аналогичных запасов безопасности на случай экстремальных, приводящих к затоплению внешних явлений, таких как цунами.

⁶² В соответствии с определением, принятым в отношении "определенной ядерной установки", т.е. объекта, на котором требуется принятие особых мер по обеспечению безопасности или физической защиты определенных ядерных материалов, действующим регулирующим органом – Управлением по ядерному регулированию (УЯР) 7 ноября 2012 года.

Систематические и всесторонние переоценки уязвимости АЭС "Фукусима-дайити" к воздействию внешних опасностей в течение ее эксплуатации не проводились. На момент аварии в Японии не существовало регулирующих требований в отношении таких переоценок, а в действовавших регулирующих положениях и руководящих принципах надлежащим образом не учитывался соответствующий национальный и международный опыт эксплуатации. Регулирующие руководящие принципы в Японии, касающиеся методов учета последствий связанных с землетрясениями событий, таких как цунами, носили общий характер, были краткими и не содержали конкретных критериев или подробных методических рекомендаций.

До аварии оператор, используя согласованные методологии, разработанные в Японии в 2002 году, провел несколько переоценок уровней затопления в случае экстремальных цунами, в результате которых были получены значения, превышавшие первоначальные оценки, которые применялись в проектных основах. С учетом полученных результатов были приняты определенные компенсирующие меры, однако на момент аварии они оказались недостаточными.

Кроме того, оператором до аварии был проведен ряд пробных расчетов с применением моделей или методологий определения источника волн, которые выходили за рамки согласованной методологии. Так, в пробных расчетах с применением модели источника, предложенной японским Центральным органом по содействию в сейсмологических исследованиях в 2002 году, при проведении которых использовалась самая последняя информация и в сценарии был принят другой подход, рассматривались значительно более мощные цунами, чем при первоначальном проектировании и в оценках, сделанных в ходе предыдущих переоценок. На момент аварии проводились и другие оценки, но при этом никаких дополнительных компенсирующих мер принято не было. Полученные в результате оценок значения были аналогичны уровням затопления, зарегистрированным в марте 2011 года.

В мировом опыте эксплуатации известны случаи, когда опасные природные явления по своей силе превосходили опасности, учтенные в проектных основах АЭС. В частности, опыт, связанный с некоторыми такими событиями, свидетельствовал об уязвимости систем безопасности к затоплениям.

Вставка 2.4. Цунами [25]

Цунами – на японском языке волна ("нами") в гавани ("цу") – это серия распространяющихся волн с большими длиной волны (например, от нескольких километров до сотен километров) и периодом (например, от нескольких минут до нескольких десятков минут и, в исключительных случаях, часов), образующихся в результате деформации или возмущения морского дна (или, в общем случае, поверхности под водой). Цунами могут образовываться в результате землетрясений, вулканических явлений, подводных и прибрежных оползней, обрушения породы или скальных обвалов. Цунами могут возникать во всех океанических регионах и морских бассейнах мира и даже во фьордах и крупных озерах.

Волны цунами распространяются от зоны их возникновения вовне во всех направлениях, причем основное направление распространения энергии определяется размерами и ориентацией создающего цунами источника. Во время распространения волн цунами на глубоководье они ведут себя как обычные гравитационные волны, а скорость их распространения зависит от глубины воды. Например, в глубоководном океане их скорость может превышать 800 км/ч, а высота, как правило, не превышает несколько десятков сантиметров, а в случае, когда источником является землетрясение, длина волны часто превышает 100 км. В ходе распространения на скорость и высоту волны цунами оказывает влияние рельеф морского дна. Важными факторами, влияющими на распространение волн цунами на глубоководье, являются рефракция, отражение от морских гор или горных цепей (архипелагов) и дифракция.

По мере приближения к мелководью волны цунами становятся круче и выше по той причине, что с уменьшением глубины скорость волны снижается, а длина волны становится меньше. В прибрежной зоне особенности местного рельефа и батиметрии, например наличие полуострова или подводного каньона, могут приводить к дополнительному увеличению высоты волн, которая также может возрастать вследствие наличия залива, устья реки, гавани или воронкообразной лагуны на пути перемещения цунами по суше от побережья. Больших волн может быть несколько, причем самой большой может оказаться необязательно первая из них. Перед приходом первой волны и между каждой из последующих волн на море может происходить отлив. Цунами может приводить к внутреннему затоплению, поскольку его длина волны так велика, что за волновым фронтом следуют огромные массы воды. Это может приводить к разрушительным последствиям.

Нормы безопасности МАГАТЭ, действовавшие на момент аварии, требовали, чтобы до строительства АЭС были определены внешние опасности для конкретной площадки, такие как землетрясения и цунами, и чтобы воздействия этих опасностей на АЭС были оценены в рамках всеобъемлющей и полной характеристики площадки [26]. Требуется установление надлежащих проектных основ для обеспечения достаточных запасов безопасности на протяжении всего срока службы АЭС [27]. Такие запасы должны быть достаточно большими и должны учитывать высокий уровень неопределенности, связанный с оценкой внешних событий. Кроме того, требуется проведение периодической переоценки связанных с площадкой опасностей в целях выявления необходимости каких-либо изменений в результате появления новой информации и знаний в течение срока службы станции [26].

В 1960-х и 1970-х годах при применении методов оценки сейсмических и сопутствующих им опасностей (например, цунами) в международной практике было принято опираться на исторические данные. Общий подход заключался в увеличении запасов безопасности посредством увеличения максимальной исторически зарегистрированной интенсивности или магнитуды сейсмических явлений в районе, где расположена площадка, и принятия допущения о том, что такое событие может произойти на самом близком расстоянии от площадки [28]. Это делалось с учетом неопределенностей в данных наблюдений интенсивности или магнитуды, а также для компенсации того факта, что максимальные потенциальные значения могут не быть

достигнуты в течение относительно короткого периода наблюдения и в этом случае, как правило, для обеспечения надежных оценок при анализе опасности период наблюдения должен включать более отдаленные исторические временные интервалы. Однако оценка сейсмической опасности при проектировании энергоблоков 1 и 2 на площадке АЭС "Фукусима-дайити" проводилась главным образом на основе исторических сейсмических данных по региону без увеличения запасов безопасности, как об этом говорилось выше. В процессе получения разрешений на строительство последующих энергоблоков применялась новая методология, предусматривавшая сочетание исторической информации о землетрясениях и данных о размерах геоморфологических разломов [16, 29].

Информация об "удаленных от моря" разломах получалась из официальных источников, а также в результате специальных обследований, проведенных оператором, причем при анализе с целью прогнозирования магнитуды возможного землетрясения использовались консервативные параметры. Что касается Японского желоба, то первоначально в результате оценки (i) без достаточного обоснования на основе тектонических данных, базирующегося главным образом на имеющихся хронологических данных и (ii) без использования мировых аналогов в качестве максимального события было указано землетрясение магнитудой 8.

Землетрясения большой магнитуды (М9) происходили и в других районах Тихоокеанского "огненного кольца", например в Чили в 1960 году и на Аляске в 1964 году, незадолго до того, как была получена лицензия на строительство энергоблока 1 АЭС "Фукусима-дайити". В результате этих землетрясений у японских сейсмологов не сложилось единодушное мнение о том, что такое событие может произойти недалеко от берегов Японии в тектонических условиях, сходных с теми, которые приводят к землетрясениям в других районах Тихоокеанской тектонической плиты.

При первоначальной оценке опасностей внешнего затопления, использованной в "разрешении на создание" для станции, проектировщики станции применяли широко распространенные в Японии в то время методологию и критерии, которые основывались на изучении и интерпретации исторических данных о землетрясениях и цунами. Событием, использованным для целей проектирования с учетом внешнего затопления, было цунами от удаленного источника, возникшее после одного из самых крупных в мире известных землетрясений в Чили в 1960 году. В результате этого события высота волны цунами, зафиксированная в порту Онахама в префектуре Фукусима, составила 3,1 м выше уровня моря.

Что касается источников цунами, расположенных в Японском желобе вблизи восточного побережья, то исторических данных об уровнях наводнения в результате цунами в месте расположения площадки АЭС "Фукусима-дайити" не имелось, так же как не имелось данных о возникновении землетрясений в море на удалении от берега в районе площадки АЭС. Отсутствие данных о близлежащих источниках цунами подкрепляло принятый для целей проектирования максимальный уровень затопления 3,1 м. Компания ТЕПКО не рассматривала землетрясения большой магнитуды, происшедшие в других районах, и не постулировала их в качестве локального источника цунами в Японском желобе.

Несмотря на отсутствие в Японии регулирующих требований относительно проведения переоценки сейсмических и связанных с цунами опасностей, компания

ТЕПКО провела в течение срока службы АЭС "Фукусима-дайити" несколько переоценок [30]. Компания ТЕПКО и другие эксплуатирующие организации в Японии провели переоценку связанных с цунами уровней затопления с использованием методологии, разработанной Японским обществом инженеров-строителей и опубликованной в 2002 году [31]. В этой методологии используется основанная на исторических данных стандартная модель источника для ближнего или локального цунами, в которой не предполагается возникновения землетрясения, создающего цунами, на морской территории Японского желоба вблизи площадки АЭС "Фукусима-дайити". Допущение о стандартной модели источника, описанной выше, применялось при проведении всех оценок в соответствии с данной методологией.

Выпущенные в 2006 году Комиссией по ядерной безопасности Японии (КЯБ) руководящие принципы [32] требовали учета землетрясений на границах тектонических плит, равно как и материковых коровых землетрясений. Эти руководящие принципы по сейсмической безопасности и связанным с ней событиям использовались для оценки сейсмических опасностей, но в руководящих принципах для опасностей, связанных с цунами, содержались лишь общие и краткие положения и не приводилось конкретных требований, критериев или методологии. Эти землетрясения были учтены компанией ТЕПКО как землетрясения магнитудой 8 в ходе "повторного контроля" сейсмической безопасности по требованию Агентства по ядерной и промышленной безопасности (АЯПБ). Однако ввиду удаленности площадки от зон этих землетрясений на границах тектонических плит такой подход приводил к заниженным значениям опасности, связанной с этой тектонической структурой, по сравнению с значениями в случае материковых сейсмогенных источников. Поэтому их воздействие на опасность, связанную с колебаниями грунта, не учитывалось. На момент аварии ТЕПКО еще не завершила переоценку уязвимости станции перед землетрясениями и цунами.

В 2009 году компанией ТЕПКО была проведена оценка с использованием новейших батиметрических данных и данных о приливах, согласно которой максимальная высота цунами составила 6,1 м. В результате этой новой оценки на АЭС "Фукусима-дайити" были произведены некоторые изменения в конструкции, в частности заключавшиеся в поднятии уровня расположения электродвигателей насосов, используемых для отвода остаточного тепла. Во время аварии одной лишь этой меры оказалось недостаточно. Других мер безопасности с целью улучшения защиты от затопления, таких как меры, позволяющие избежать затопления аварийных дизель-генераторов, принято не было.

В дополнение к переоценкам, в которых использовалась методология Японского общества инженеров-строителей, компанией ТЕПКО до аварии были проведены пробные расчеты уровней затопления водой при цунами. В одном из этих пробных расчетов [30] применялась модель источника, предложенная Центральным органом по содействию в сейсмологических исследованиях, в которой использовалась новейшая информация и рассматривались различные сценарии [30, 33]. В этом подходе была проанализирована возможность возникновения цунами в Японском желобе возле побережья префектуры Фукусима. В нем не использовались только лишь исторические данные о цунами для этой части тектонической зоны субдукции.

В новом подходе, применявшемся в период с 2007 по 2009 годы, было сделано допущение о возникновении в море у побережья префектуры Фукусима землетрясения магнитудой 8,3. Такое землетрясение могло привести к появлению на площадке АЭС "Фукусима-дайити" наката цунами высотой около 15 м (близкой к фактической высоте

волны цунами 11 марта 2011 года), способного затопить главные здания. На основе этого нового анализа компания ТЕПКО и другие организации в Японии пришли к выводу о необходимости дальнейших исследований и изучения. Компания ТЕПКО и другие энергокомпании обратились к Японскому обществу инженеров-строителей с просьбой рассмотреть пригодность моделей источника цунами; в марте 2011 года эти работы находились в стадии проведения.

Компанией ТЕПКО не было принято промежуточных компенсирующих мер в ответ на эти данные об увеличении оценочной высоты волн цунами, а АЯПБ не потребовало, чтобы ТЕПКО оперативно отреагировала на эти результаты [30].

Несмотря на трудности и неопределенности в оценке сейсмической опасности, события на АЭС "Фукусима-дайити" продемонстрировали надежность японских АЭС при вибрационных колебаниях грунта, вызванных землетрясением. 11 марта 2011 года максимальные ускорения, зарегистрированные на плите фундамента реакторных зданий энергоблоков 1-5 АЭС "Фукусима-дайити", значительно превышали расчетные значения, полученные при проектировании станции. Однако свидетельств того, что колебания грунта нанесли заметный ущерб связанным с безопасностью конструкциям, системам и элементам, обнаружено не было [34]. Вместе с тем средств защиты от затопления в результате цунами оказалось недостаточно при такой высоте волн цунами, которая намного превосходила величины, заложенные в проект АЭС "Фукусима-дайити". При проектировании АЭС "Фукусима-дайити" не принимался в расчет сценарий, при котором экстремальные природные явления произошли бы одновременно и затронули сразу несколько энергоблоков. Своевременное предоставление ресурсов для осуществления мер по ликвидации последствий тяжелой аварии на АЭС "Фукусима-дайити" было затруднено из-за хаоса за пределами площадки, возникшего в этом регионе в результате серьезного ущерба, причиненного инфраструктуре землетрясением и цунами.

Опыт эксплуатации АЭС в Японии и в других странах в течение 12 лет до аварии показывал, что существует потенциальная возможность возникновения серьезных последствий в результате затопления. К соответствующим эксплуатационным событиям относились: штормовой нагон с затоплением двух реакторов на АЭС "Блайе" во Франции в 1999 году; цунами в Индийском океане в 2004 году, в результате которого были затоплены морской водой насосы на Мадрасской АЭС в Индии; и землетрясение в прибрежной зоне района Тюэцу в префектуре Ниигата в Японии в 2007 году. От последнего пострадала АЭС "Касивадзаки-Карива" компании ТЕПКО, на которой произошло затопление реакторного здания 1-го энергоблока вследствие отказа подземного трубопровода внешних средств пожаротушения [35–38].

2.2.2. Применение концепции глубокоэшелонированной защиты

Глубокоэшелонированная защита – это концепция, которая применяется для обеспечения безопасности ядерных установок с начала развития ядерной энергетики. Ее цель заключается в том, чтобы компенсировать человеческие ошибки и отказы оборудования посредством введения нескольких уровней защиты. Защита обеспечивается несколькими независимыми средствами на каждом уровне.

В проекте АЭС "Фукусима-дайити" были предусмотрены оборудование и системы для первых трех уровней глубокоэшелонированной защиты: 1) оборудование, предназначенное для обеспечения надежной нормальной эксплуатации; 2) оборудование, предназначенное для возвращения станции в безопасное состояние после аномального события; 3) системы безопасности, предназначенные для управления аварийными условиями. Проектные основы были определены с учетом ряда постулированных опасностей, однако внешние опасности, такие как цунами, в полной мере учтены не были. Поэтому затопление в результате цунами поразило одновременно первые три уровня глубокоэшелонированной защиты и привело к отказам по общей причине оборудования и систем на каждом из трех уровней.

В результате отказов по общей причине нескольких систем безопасности на станции возникли условия, не предусмотренные в проекте. Таким образом, средства защиты, предназначенные для обеспечения четвертого уровня глубокоэшелонированной защиты, т.е. предотвращения развития тяжелых аварий и смягчения их последствий, оказались в состоянии эксплуатационной неготовности для восстановления функции охлаждения реактора и сохранения целостности защитной оболочки. Полная потеря электроснабжения, отсутствие информации о соответствующих параметрах безопасности в результате эксплуатационной неготовности требующихся контрольно-измерительных приборов, отказ устройств управления и неадекватность технологического регламента эксплуатации обусловили невозможность остановки развития аварии и ограничения ее последствий.

Отсутствие достаточных средств защиты на каждом уровне глубокоэшелонированной защиты стало причиной серьезного повреждения реакторов энергоблоков 1, 2 и 3 и значительных радиоактивных выбросов из этих энергоблоков.

Землетрясение, произошедшее 11 марта 2011 года, нанесло серьезный ущерб инфраструктуре региона, включая потерю соединения энергосети за пределами площадки с АЭС "Фукусима-дайити". Это привело к отклонению от нормального режима эксплуатации станции (уровень 1 глубокоэшелонированной защиты). После того, как произошло землетрясение, энергоснабжение стали обеспечивать источники, находящиеся на площадке, и все системы безопасности уровня 3 глубокоэшелонированной защиты продолжали функционировать в штатном режиме. Это свидетельствует о том, что системы и оборудование, обеспечивающие безопасность, выдержали воздействие сейсмических опасностей [8].

Площадка станции имела уровень, близкий к уровню моря, и защита от опасностей, связанных с затоплением, не была достаточной, поскольку не был надлежащим образом оценен риск затопления [27]. Важнейшее оборудование для обеспечения безопасности не было защищено путем помещения в прочноплотные боксы или размещения на значительных высотах с целью защиты от затопления. Это привело к отказу мер по обеспечению отвода остаточного тепла и охлаждения защитной оболочки на уровнях 1, 2 и 3 глубокоэшелонированной защиты.

Вставка 2.5. Концепция глубокоэшелонированной защиты, применявшаяся во время аварии [27]

Концепция глубокоэшелонированной защиты, применяемая ко всем видам деятельности в области безопасности – организационным, поведенческим или связанным с проектированием, – обеспечивает такую глубину охвата перекрывающимися мерами, при которой возникающий отказ будет обнаружен и скомпенсирован или устранен соответствующими средствами. После 1988 года эта концепция была доработана [39, 40]. Применение концепции глубокоэшелонированной защиты на всех этапах проектирования и эксплуатации предусматривает ступенчатую защиту от самых различных переходных процессов, ожидаемых при эксплуатации событий и аварий, включая аварии, которые происходят в результате отказа оборудования или действий человека на станции, и событий, происходящих за пределами станции.

Применение концепции глубокоэшелонированной защиты при проектировании станции предусматривает создание нескольких уровней защиты (внутренне присущие свойства, оборудование и процедуры) с целью предотвращения аварий и обеспечения соответствующей защиты в том случае, если такое предотвращение окажется безрезультатным.

- 1) Цель первого уровня защиты состоит в том, чтобы предотвратить отклонения от нормальной эксплуатации и предотвратить отказы системы. В результате этого возникает требование, чтобы станция была надежно и с консервативным запасом спроектирована, сооружена, технически обслуживалась и эксплуатировалась в соответствии с надлежащими уровнями качества и методами инженерной практики, такими как применение принципов резервирования, независимости и неодинаковости. Для достижения этой цели пристальное внимание уделяется подбору соответствующих проектных норм и материалов, а также контролю за изготовлением элементов и сооружением станции. На этом уровне защиты используются проектные решения, которые могут способствовать уменьшению потенциальной возможности возникновения внутренних опасностей (например, контроль реагирования на постулируемое исходное событие), смягчению последствий конкретного постулируемого исходного события или уменьшению вероятных параметров радиоактивного выброса после развития аварийной последовательности. Внимание уделяется также процедурам, связанным с проектированием, изготовлением, сооружением, эксплуатационным контролем станции, техническим обслуживанием и проведением проверок и испытаний, облегчению проведения этих работ, порядку эксплуатации станции и использованию эксплуатационного опыта. В поддержку всего этого процесса проводится детальный анализ, в ходе которого определяются требования в отношении эксплуатации и технического обслуживания, предъявляемые к станции.
- 2) Цель второго уровня защиты – обнаружить и устранить отклонения от нормальных эксплуатационных состояний и не допустить, чтобы ожидаемые при эксплуатации события могли привести к возникновению аварийных условий. Это является признанием того, что некоторые постулируемые исходные события, вероятно, могут произойти в течение срока эксплуатации (жизненного цикла) АЭС несмотря на меры, принимаемые с целью их предотвращения. Для этого уровня необходимо предусматривать специальные системы, определенные в результате проведения анализа безопасности, и определять эксплуатационные процедуры (регламенты) с целью предотвращения или сведения к минимуму вреда от таких постулируемых исходных событий.
- 3) В отношении третьего уровня защиты принимается допущение, что – хотя это и весьма маловероятно – развитие некоторых ожидаемых при эксплуатации событий или постулируемых исходных событий может быть не остановлено на предыдущем уровне защиты, и это событие может стать более серьезным. Эти маловероятные события учитываются в основе проекта станции, и предусматриваются внутренне присущие свойства безопасности, безотказные конструкции, дополнительное оборудование и процедуры для контроля последствий и обеспечения стабильных и приемлемых состояний станции после таких событий. В этой связи возникает требование обеспечения инженерно-технических средств безопасности, способных привести станцию сначала в контролируемое состояние, а затем и в безопасное остановленное состояние и удерживать по меньшей мере один барьер для локализации радиоактивных материалов.

Вставка 2.5. Концепция глубокоэшелонированной защиты, применявшаяся во время аварии [27] (продолжение)

- 4) Цель четвертого уровня защиты – противостояние тяжелым авариям, при которых могут быть превышены проектные основы, и удержание радиоактивных выбросов на практически достижимом низком уровне. Наиболее важной целью этого уровня является защита функции локализации. Это может быть достигнуто путем осуществления дополнительных мер и процедур для предотвращения развития аварии и посредством смягчения последствий отдельных тяжелых аварий в дополнение к процедурам управления авариями. Эффективность защиты, которую обеспечивает локализация (удержание), может быть подтверждена методами наилучших оценок.
- 5) Пятый и последний уровень защиты предназначен для смягчения радиологических последствий потенциальных выбросов радиоактивных материалов, которые могут произойти в результате возникновения аварийных условий. Это требует наличия оборудованного надлежащим образом центра аварийного управления (см. раздел 3, посвященный аварийной готовности и реагированию).

Соответствующим аспектом создания глубокоэшелонированной защиты является обеспечение наличия в проекте ряда физических барьеров для удержания радиоактивных материалов в конкретных местах. Число необходимых физических барьеров будет зависеть от потенциальных внутренних и внешних опасностей и потенциальных последствий отказов. Барьеры – обычно в случае водоохлаждаемых реакторов – могут иметь форму топливных матриц, оболочек твэлов, первого контура теплоносителя реактора и защитной оболочки.

Затопление явилось общей причиной отказа системы аварийного энергоснабжения, почти полного выхода из строя систем электропитания постоянного тока для контрольно-измерительной аппаратуры и разрушения конструкций и элементов, обеспечивающих охлаждение морской водой на станции.

Целями уровня 4 глубокоэшелонированной защиты являются предотвращение развития аварии и смягчение последствий тяжелой аварии. Для выполнения действий на уровне 4 операторам было необходимо использовать все имеющиеся средства для подачи воды в реактор в целях обеспечения надлежащего отвода остаточного тепла. Это требовало наличия приборов, предоставляющих надежную информацию о важнейших параметрах безопасности, и простых, надежных средств для снижения давления в реакторе. Кроме того, операторы нуждались в четких инструкциях и подготовке для того, чтобы приступить к осуществлению мер по управлению аварией [41].

В ходе развития аварии операторы утратили способность надежного измерения важных параметров безопасности из помещения щита управления. Эта информация была необходима для оценки состояния реактора и принятия обоснованных решений относительно необычных действий и методов с целью охлаждения реакторов. Тем не менее операторы уделяли первоочередное внимание охлаждению реактора и им удалось быстро подготовить трубопроводы водоснабжения с целью впрыска охлаждающей воды в реакторы с помощью имеющихся насосов низкого давления. Однако попытки снизить давление в реакторе оказались неудачными, поскольку после полной потери энергоснабжения не было средств для выполнения этой функции. Не удалось своевременно восстановить требуемую эффективность органов управления, позволяющую предотвратить повреждение активной зоны [8].

Последним физическим барьером уровня 4 глубокоэшелонированной защиты является защитная оболочка реактора. Ее целью является смягчение последствий аварий путем предотвращения крупных радиоактивных выбросов в окружающую среду после

повреждения реактора. В зависимости от типа защитной оболочки, необходимы различные системы или виды оборудования, обеспечивающие защиту защитной оболочки от физических явлений, связанных с авариями, сопровождающимися повреждением активной зоны и способными нарушить целостность защитной оболочки. На энергоблоках АЭС "Фукусима-дайити" имелись средства для контролируемого вентилирования защитной оболочки с целью снижения избыточного давления, которое могло образоваться в результате утечки пара из системы теплоносителя реактора. Кроме того, защитная оболочка была заполнена инертным азотом с целью предотвращения возгорания и возможных взрывов водорода.

Результаты измерений, полученные во время аварии, свидетельствуют о том, что давление в защитных оболочках энергоблоков 1, 2 и 3 в определенные моменты времени возрастало до уровней, приближающихся к предельным проектным уровням для соответствующих защитных оболочек или превышающих их. Это повышение давления стало следствием выхода из строя систем охлаждения защитной оболочки и генерации пара в перегретых активных зонах реакторов. Хотя некоторые системы вентилирования защитных оболочек успешно сработали, имеются признаки того, что защитные оболочки энергоблоков 1, 2 и 3 не выполнили свои функции, что привело к выбросу радиоактивных материалов и водорода. Азотная атмосфера внутри оболочек эффективно препятствовала возгоранию и взрывам водорода в этом ограниченном пространстве. Однако в результате утечек водорода из защитных оболочек в реакторные здания в 1, 3 и 4 энергоблоках произошли взрывы водорода [8].

Авария на АЭС "Фукусима-дайити" показала, что экстремальные опасные природные явления способны заблокировать или ухудшить функционирование нескольких уровней глубокоэшелонированной защиты [42, 43]. Поэтому для всех уровней глубокоэшелонированной защиты необходимо рассмотреть вопрос о систематическом определении и оценке внешних опасностей и надежной защите от этих опасностей. Далее, эта авария показала, что альтернативные проектные меры и возможности управления аварией все же способны обеспечивать подачу охлаждающей воды в реактор даже в случае выхода из строя всех основных систем безопасности, предназначенных для защиты реактора от аварий. Однако для своевременного использования таких мер требуется наличие приборов, способных дать надежную информацию о важнейших параметрах безопасности, и простые, надежные средства для снижения давления в реакторе, с тем чтобы можно было использовать любые средства для подачи охлаждающей воды в реактор.

2.2.3. Оценка отказа выполнять фундаментальные функции безопасности

Тремя фундаментальными функциями безопасности, важными для обеспечения безопасности, являются: управление реактивностью ядерного топлива; отвод тепла из активной зоны реактора и из бассейна выдержки отработавшего топлива; локализация радиоактивных материалов. После землетрясения первая фундаментальная функция безопасности, обеспечивающая управление реактивностью, оставалась действующей на всех шести энергоблоках АЭС «Фукусима-дайити».

Действие второй фундаментальной функции безопасности – отвода тепла из активной зоны реактора и из бассейна выдержки отработавшего топлива – не могло быть обеспечено, так как операторы лишились почти всех средств управления реакторами энергоблоков 1, 2 и 3 и бассейнами выдержки

отработавшего топлива в результате выхода из строя большинства электрических систем переменного и постоянного тока. Утрата второй фундаментальной функции безопасности явилась отчасти следствием невозможности осуществить альтернативный впрыск воды вследствие задержек в осуществлении операций сброса давления в корпусах реакторов. Потеря охлаждения привела к перегреву и расплавлению топлива в реакторах.

Функция локализации была утрачена в результате потери электроснабжения переменного и постоянного тока, которая привела к неработоспособности систем охлаждения и осложнила операторам использование системы вентилирования защитной оболочки. Вентилирование защитной оболочки было необходимо для сброса давления и предотвращения ее отказа. Операторы смогли осуществить вентилирование на энергоблоках 1 и 3 с целью снижения давления в первичной защитной оболочке, однако это привело к радиоактивным выбросам в окружающую среду. Даже несмотря на то, что каналы вентилирования энергоблоков 1 и 3 были открыты, в конечном итоге произошел отказ первичных защитных оболочек на энергоблоках 1 и 3. В случае энергоблока 2 вентилирование защитной оболочки не было успешным, и произошел отказ защитной оболочки, который привел к радиоактивным выбросам.

Вставка 2.6. Фундаментальные функции безопасности

Тремя фундаментальными функциями безопасности являются:

- 1) управление реактивностью;
- 2) отвод тепла;
- 3) локализация радиоактивных материалов.

До аварии на АЭС «Фукусима-дайити» было две аварии, вызванные неспособностью поддерживать выполнение одной или более из фундаментальных функций безопасности. Авария в 1979 году на АЭС «Три майл айленд» в США произошла в результате утраты второй из этих функций безопасности, но радиоактивные выбросы в окружающую среду были успешно предотвращены благодаря третьей функции – локализации радиоактивных материалов в защитной оболочке. Авария в 1986 году на Чернобыльской АЭС в бывшем Советском Союзе произошла в результате утраты первой из этих функций безопасности. На этой станции не было защитной оболочки. Как следствие этого, авария в Чернобыле привела к очень большому радиоактивному выбросу в окружающую среду. Авария на АЭС «Фукусима-дайити» произошла из-за утраты второй и третьей из этих функций безопасности вследствие воздействия комбинации экстремальных внешних событий.

Управление реактивностью ядерного топлива в активной зоне реактора

Системами безопасности для управления реактивностью ядерного топлива в активной зоне реактора являются система аварийной защиты реактора и система приводов управляющих стержней. Непосредственно перед землетрясением энергоблоки 1-3 АЭС «Фукусима-дайити» находились в рабочем режиме; энергоблоки 4-6 были остановлены для технического обслуживания. Реакторы энергоблоков 1-3 были автоматически остановлены системами аварийной защиты реактора, срабатывание которых было запущено оборудованием для мониторинга сейсмических событий. Введение реакторных управляющих стержней системами приводов управляющих

стержней привело к прекращению ядерной цепной реакции в ядерном топливе и переводу реакторов в состояние останова.

Отвод тепла от ядерного топлива

После останова энергоблоков 1–3 отвод остаточного тепловыделения, связанного с продолжающимся радиоактивным распадом компонентов ядерного топлива, осуществлялся с помощью систем охлаждения реактора. Это обеспечивало поддержание второй фундаментальной функции безопасности. Эти системы охлаждения включали как замкнутые циркуляционные контуры для отвода тепла в морскую воду, так и различные средства для закачки воды под высоким и низким давлением в активные зоны реакторов с целью отвода остаточного тепла (см. раздел 2.1).

Для работы многих из этих систем требовалось электропитание переменного тока, а для управления работой всем им требовалось электропитание постоянного тока. В ходе аварии произошел отказ большинства источников электроснабжения; в данной части доклада основное внимание уделено последствиям этого отказа электроснабжения.

Энергоблок 1

В результате поступления сигнала о высоком давлении в корпусе реактора автоматически запустился изоляционный конденсатор (см. вставку 2.2), обеспечивающий охлаждение энергоблока 1. Когда реактор был остановлен после землетрясения, открылись изолирующие клапаны трубопровода возврата конденсата (другие изолирующие клапаны в трубопроводах были открыты в режиме нормальной эксплуатации). В соответствии с требованиями эксплуатационных регламентов система изоляционного конденсатора несколько раз останавливалась и вновь запускалась операторами с целью предотвращения чрезмерно быстрого охлаждения реактора и возникновения термических напряжений, превышающих проектные значения для корпуса реактора. Для этого производилось открытие и закрытие изолирующих клапанов в трубопроводах возврата конденсата [8].

В тот момент, когда цунами затопило площадку и произошел отказ электроснабжения, операторы только что остановили работу системы изоляционного конденсатора, закрыв клапан на трубопроводе возврата снаружи первичной защитной оболочки. У операторов не имелось информации относительно положений клапанов изоляционного конденсатора, и они предприняли первую попытку вручную запустить изоляционный конденсатор лишь приблизительно три часа спустя. Операторы не имели достаточной подготовки, позволяющей им понять, как клапаны срабатывают в этих условиях. В конце концов они предприняли две безуспешные попытки вновь запустить из помещения главного щита управления изоляционный конденсатор путем открытия наружных изолирующих клапанов. У операторов не имелось регламентов ручного управления изоляционным конденсатором. На момент подготовки настоящего доклада точное положение всех клапанов в системе изоляционного конденсатора оставалось неизвестным, однако имеются указания на то, что изоляционный конденсатор после цунами не работал [8].

Система впрыска охлаждающей воды под высоким давлением с приводом от паровой турбины была неработоспособна ввиду отказа электроснабжения постоянного тока.

После потери работоспособности изоляционного конденсатора и системы впрыска охлаждающей воды под давлением необходимо было найти способ впрыска воды в корпус реактора с помощью оборудования низкого давления, например насосов для пожаротушения или пожарных автомобилей. Операторами были своевременно подготовлены трубопроводы для впрыска, но для того, чтобы можно было осуществить впрыск под низким давлением, было также необходимо понизить давление в корпусе реактора путем открытия предохранительных клапанов. Открыть эти клапаны не удалось ввиду отказа энергоснабжения устройств управления и подачи сжатого воздуха высокого давления. Давление в корпусе реактора и в защитной оболочке было слишком высоким и не позволяло осуществлять впрыск воды в объемах, достаточных для охлаждения топлива без вентилирования защитной оболочки и сброса давления в корпусе реактора. Таким образом, альтернативные системы впрыска воды оказались не в состоянии обеспечить впрыск воды в корпус реактора.

Давление в корпусе реактора оставалось высоким до тех пор, пока не произошло серьезное повреждение активной зоны. Наиболее вероятной причиной сброса давления был прорыв корпуса реактора в результате расплавления [44]. Предположение о сбросе давления вследствие прорыва подкрепляется фактом повышения давления в защитной оболочке через несколько часов после того, как возникли признаки серьезного повреждения активной зоны. Последующее снижение давления обеспечило условия для первого впрыска воды в корпус реактора приблизительно через 12 часов после цунами. Однако к этому времени топливо уже подверглось серьезному повреждению [8].

Согласно оценкам, повреждение активной зоны реактора произошло приблизительно через 4-5 часов после цунами и через 6-8 часов после цунами материалы расплавленной активной зоны прорвали днище корпуса реактора. Первые признаки радиоактивного выброса в окружающую среду были отмечены примерно через 12 часов после цунами, а крупный выброс произошел, когда приблизительно через 23 часа после цунами было осуществлено вентилирование защитной оболочки энергоблока 1 с целью предотвращения ее прорыва из-за высокого давления. Химические реакции между оболочкой топлива и водой привели к образованию больших количеств водорода, распространившегося из корпуса реактора в защитную оболочку и затем проникшего в реакторное здание [8].

Энергоблок 2

Конструкция энергоблока 2 имеет некоторые отличия в плане отвода остаточного тепла из активной зоны реактора. Система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции (см. вставку 2.2) использует пар, поступающий из корпуса реактора, для приведения в действие турбины, которая подает воду в корпус реактора. Система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции энергоблока 2 была запущена вручную после потери энергоснабжения за пределами площадки. Для дистанционного управления этой системой было необходимо электропитание постоянного тока, и она была рассчитана на работу в течение как минимум четырех часов. Однако система продолжала работать в тяжелых условиях около 68 часов без электропитания постоянного тока и без вмешательства оператора [8]. Эта система успешно поддерживала уровень воды в корпусе реактора, позволявший покрыть топливо, и обеспечивала выполнение функции охлаждения.

Имеются свидетельства того, что примерно через 68 часов произошел отказ системы охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции. Поэтому продолжение впрыска воды в корпус реактора оказалось невозможным ввиду высокого давления в нем. Уровень воды в корпусе реактора, согласно оценке, понизился, достигнув верхней части активной зоны реактора через несколько часов после прекращения работы системы охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции. Операторы использовали альтернативное оборудование для обеспечения впрыска воды под низким давлением, аналогичное тому, которое имелось для энергоблока 1. После некоторых первоначальных трудностей им удалось добиться снижения давления в корпусе реактора путем открытия предохранительных клапанов, хотя впрыск произошел слишком поздно и не смог предотвратить быстрый разогрев топлива и повреждение активной зоны реактора.

Система вентилирования защитной оболочки не смогла обеспечить сброс давления на энергоблоке 2. Предполагается, что этот отказ произошел из-за того, что не было разрыва предохранительной мембраны. Согласно оценкам, расплавление активной зоны реактора энергоблока 2 началось примерно через 76 часов после цунами. Радиоактивные выбросы начались примерно через 89 часов после цунами, вслед за прорывом границы защитной оболочки, о чем свидетельствовало резкое падение давления в защитной оболочке [45].

Энергоблок 3

В отличие от ситуации на энергоблоках 1 и 2, электропитание постоянного тока на энергоблоке 3 сохранялось примерно около двух суток. Это означало, что система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции и система впрыска охлаждающей воды под высоким давлением, насосы которых работали от паровых турбин, сохраняли работоспособность. Первоначально операторам удавалось поддерживать уровень воды в активной зоне реактора путем впрыска воды с использованием системы охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции. Они использовали процедуры, позволявшие им увеличить срок службы аккумуляторов системы охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции [8].

Кроме того, был возможен сброс пара из корпуса реактора в камеру понижения давления, а давление в камере понижения давления можно было контролировать посредством распыления воды, подаваемой пожарными насосами. Эта ситуация сохранялась в течение 20 часов, до тех пор пока система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции не прекратила работу и ее не удалось запустить вновь. Система впрыска охлаждающей воды под высоким давлением автоматически начала впрыск воды в корпус реактора, с тем чтобы поддержать уровень воды.

Система впрыска охлаждающей воды под высоким давлением предназначена для оперативной закачки воды в корпус реактора при возникновении течи в системе теплоносителя реактора. Эта система оказалась весьма эффективной и позволила понизить давление в корпусе реактора. Однако это привело к ситуации, когда давление пара на входе турбины насоса упало ниже предельного согласно спецификациям насоса и эффективность насоса значительно снизилась. Операторы решили отключить систему примерно через 14 часов из-за опасения, что система может выйти из строя и могут возникнуть утечки радиоактивных материалов за пределы защитной оболочки.

После останова системы впрыска охлаждающей воды под высоким давлением операторы подготовили трубопровод впрыска в корпус реактора и были готовы начать впрыск в корпус реактора морской воды. Однако из-за высокого давления в реакторе впрыск морской воды был невозможен до тех пор, пока давление в нем не было сброшено. Следовательно, из-за задержки впрыска воды в корпус реактора уровень воды в нем продолжал понижаться, приближаясь к уровню верхней части топливных сборок. Согласно оценкам, автоматический сигнал, предположительно ложный, привел к быстрому автоматическому сбросу давления предохранительными клапанами до того, как операторы смогли открыть предохранительные клапаны более контролируемым образом [46]. Сброс давления в совокупности с низким уровнем воды в корпусе реактора вызвал, согласно оценкам, вскипание оставшейся в активной зоне реактора воды и мгновенное превращение ее в пар, что привело к потере надлежащего охлаждения активной зоны. Последующая серия событий, приведших к потере охлаждения активной зоны реактора, аналогична событиям на энергоблоке 2.

Активная зона начала перегреваться, и мощный выброс пара из корпуса реактора в камеру понижения давления защитной оболочки привел к возрастанию давления до уровня, при котором произошел разрыв предохранительной мембраны в вентиляционном трубопроводе, открывая путь в окружающую среду [8]. По оценкам, расплавление активной зоны реактора энергоблока 3 началось примерно через 43 часа после цунами. Мощные радиоактивные выбросы начались примерно через 47 часов после цунами [8].

Энергоблок 4

На энергоблоке 4 проводилась запланированная инспекция, и он был приведен в состояние останова до аварии. Все топливо энергоблока 4 на момент аварии находилось в бассейне выдержки отработавшего топлива. Поэтому охлаждения активной зоны реактора энергоблока 4 не требовалось. Охлаждение бассейна выдержки отработавшего топлива стало невозможным ввиду отказа электроснабжения, и в результате этого температура в бассейне начала возрастать.

Бассейны выдержки отработавшего топлива

Первые несколько дней после цунами операторы считали, что в бассейнах выдержки отработавшего топлива имеется достаточное количество воды и перегрев топлива не является безотлагательной проблемой. Это мнение изменилось 15 марта, когда в реакторном здании энергоблока 4 произошел взрыв. На тот момент считали, что причиной взрыва был водород, а единственным возможным источником водорода на энергоблоке 4 могло быть перегретое топливо в бассейне выдержки отработавшего топлива из-за того, что оно оказалось не покрытым водой. Это сразу же вызвало тревогу по поводу количества воды, оставшейся в этом бассейне, и были предприняты усилия с целью определения уровня воды в бассейнах выдержки отработавшего топлива.

Проведенные 16 марта визуальные проверки показали, что в бассейне при энергоблоке 4 вода все еще оставалась, однако возникли опасения по поводу положения дел на энергоблоке 3, что привело к принятию различных мер, направленных на смягчение ситуации, включая сброс воды с вертолетов. Последующие анализ и инспекции показали, что уровень воды в бассейнах выдержки

отработавшего топлива энергоблоков 3 и 4 не упал до уровня отработавшего топлива. Эти инспекции подтвердили, что взрыв на энергоблоке 4 был вызван водородом, а источником водорода было не топливо в бассейне выдержки отработавшего топлива энергоблока 4, а распространение водорода из энергоблока 3 в энергоблок 4 через общую систему вентилирования. Однако отсутствие сведений о фактических условиях в бассейне выдержки отработавшего топлива во время аварии вследствие выхода из строя контрольно-измерительной аппаратуры привело к тому, что были предприняты усилия с целью пополнения воды в бассейне. Подробное описание событий в бассейне выдержки отработавшего топлива приведено в разделе 2.1.

Энергоблоки 5 и 6

Энергоблоки 5 и 6 также пострадали от цунами, но тепловыделение в их реакторах было меньшим, поскольку они находились в состоянии останова в течение значительного периода времени до аварии. Кроме того, один из аварийных дизель-генераторов энергоблока 6 не был поврежден в результате затопления и сохранял работоспособность. Поэтому у операторов было больше времени для реагирования, и системы охлаждения обоих энергоблоков получали питание от одного сохранившего работоспособность аварийного дизель-генератора. Это энергоснабжение позволило поддерживать охлаждение активных зон реакторов и в конечном счете было использовано для обеспечения расхолаживания бассейнов выдержки отработавшего топлива энергоблоков 5 и 6, которые были успешно охлаждены до безопасного состояния [8].

Локализация радиоактивных материалов и контроль радиоактивных выбросов

В результате повреждения активных зон реакторов энергоблоков 1-3 произошло высвобождение из корпусов реакторов больших объемов пара и водорода. Это, в свою очередь, привело к возрастанию давления в первичных защитных оболочках. Произошел прорыв этих оболочек, и выбросы пара, водорода и других газов, а также радиоактивных материалов распространились в реакторные здания и, в конечном итоге, в окружающую среду.

Первичные защитные оболочки реакторов не были рассчитаны на то, чтобы выдерживать давление, которое может возникнуть при тяжелой аварии; поэтому в 1990-х годах [22, 23] были установлены системы вентилирования, ограничивающие давление в защитных оболочках в случае аварии. Имеются указания на то, что на различных этапах развития аварии на энергоблоках 1–3 происходили отказы первичных защитных оболочек. Это было результатом нарастания давления и температуры в первичной защитной оболочке до уровней, намного превышавших проектные параметры, прежде чем могло быть осуществлено вентилирование (см. раздел 2.1). Утечки радиоактивных материалов из активных зон реакторов частично компенсировались благодаря функционированию бассейнов понижения давления, удерживавших некоторые радионуклиды, содержащиеся в выбросах из корпусов реакторов.

2.2.4. Оценка запроектных аварий и управления аварией

В ходе анализа безопасности, проведенного в процессе лицензирования АЭС «Фукусима-дайити» и во время ее эксплуатации, не в полной мере была учтена возможность развития сложной последовательности событий, могущих привести к серьезному повреждению активной зоны реактора. В частности, в рамках анализа безопасности не были выявлены уязвимость станции к затоплению и слабые места в эксплуатационных процедурах и руководствах по управлению аварией. В вероятностных оценках безопасности не была рассмотрена возможность внутреннего затопления, а допущения относительно эффективности действий человека при управлении аварией были оптимистическими. Кроме того, регулирующим органом были введены лишь ограниченные требования в отношении учета операторами возможности тяжелых аварий.

Операторы оказались не полностью подготовленными к отказу энергоснабжения на нескольких энергоблоках и выходу из строя охлаждения в результате воздействия цунами. Хотя компанией ТЕПКО были разработаны руководства по управлению тяжелыми авариями, они не охватывали эту маловероятную комбинацию событий. Поэтому операторы не получили надлежащей профессиональной подготовки и не участвовали в соответствующих учениях по отработке действий при тяжелых авариях, а имевшееся у них оборудование не было адекватным для ухудшившихся условий на станции.

В сентябре 2012 года было создано Управление по ядерному регулированию (УЯР). УЯР разработало новые регулирующие положения по защите населения и охране окружающей среды, которые вступили в силу в 2013 году. Эти положения укрепили контрмеры, позволяющие предотвращать одновременную утрату всех функций безопасности по общим причинам, включая переоценку последствий таких внешних событий, как землетрясения и цунами. Были также предусмотрены новые контрмеры в рамках реагирования на тяжелую аварию с повреждением активной зоны, повреждением защитной оболочки и распространением радиоактивных материалов.

Нормы безопасности МАГАТЭ, действовавшие на момент аварии, требовали проведения оценки для определения того, могут ли функции безопасности выполняться во всех нормальных эксплуатационных режимах, в аварийных условиях и при запроектных авариях, включая тяжелые аварии. Необходимо выявить, используя в сочетании вероятностные методы, детерминированные методы и обоснованные инженерно-технические оценки, важные последовательности событий, могущие приводить к тяжелой аварии [27]. Кроме того, необходимо провести конкретный детерминированный анализ запроектных аварий с целью изучения вероятных сценариев аварии, которые могут быть использованы для внесения улучшений в меры по управлению авариями [41]. Поэтому необходимо определить, могут ли выполняться функции безопасности в условиях запроектной аварии.

Вставка 2.7. Детерминированные и вероятностные оценки безопасности [47, 48]

Анализы безопасности представляют собой аналитические оценки физических явлений, происходящих на АЭС. Детерминированный анализ безопасности АЭС позволяет прогнозировать реакцию станции на постулируемые исходные события. При этом применяется определенный набор правил и критериев приемлемости. Как правило, основное внимание в таком анализе уделяется нейтронно-физическим, теплогидравлическим, радиологическим, тепломеханическим и конструкционным аспектам, которые зачастую анализируются с использованием различных вычислительных инструментальных средств.

Детерминированный анализ безопасности методом улучшенной оценки необходимо проводить с целью подтверждения разработанных стратегий восстановления нормальных условий эксплуатации на станции после возникновения переходных режимов в результате ожидаемых при эксплуатации событий и проектных аварий. Эти стратегии отражены в аварийных эксплуатационных процедурах, определяющих действия, которые должны быть приняты в ходе таких событий. Детерминированный анализ безопасности необходим для получения исходных данных, требующихся для регламентирования действий оператора, которые должны осуществляться при реагировании в случае определенных аварий, и этот анализ должен быть важным элементом рассмотрения стратегий управления авариями. При разработке стратегий восстановления для установления времени, имеющегося у оператора для принятия эффективных мер, необходимо выполнять расчеты чувствительности в связи с определением времени осуществления оператором необходимых действий, и эти расчеты могут использоваться для оптимизации процедур.

Детерминированный анализ безопасности также должен проводиться в качестве вспомогательного средства при разработке стратегии, которой оператор должен придерживаться в случае, если аварийные эксплуатационные процедуры не позволяют предотвратить возникновение тяжелой аварии. Такой анализ следует использовать для определения проблем, возникновения которых можно ожидать в ходе развития аварий, а также явлений, которые будут при этом происходить. Они должны использоваться в качестве основы при разработке свода руководящих материалов по управлению авариями и смягчению их последствий.

Детерминированный анализ может применяться для проверки соблюдения критериев приемлемости, в то время как вероятностную оценку безопасности (ВОБ) можно использовать для определения вероятности повреждения каждого барьера. Следовательно, ВОБ может служить в качестве инструмента для оценки риска в связи с последовательностями событий, имеющими низкую частоту возникновения, которые приводят к повреждению барьеров, тогда как детерминированный анализ является эффективным в случае событий с более высокой частотой возникновения.

Детерминированный анализ безопасности играет важную роль при проведении ВОБ, поскольку он обеспечивает получение информации о возможности того, что сценарий аварии приведет к выходу из строя барьера на пути распространения продуктов деления. Дерево отказов в ВОБ является мощным инструментом, который можно использовать для подтверждения допущений, обычно принимаемых в детерминированных расчетах эксплуатационной готовности систем.

Цели ВОБ сводятся к определению всех значительных факторов, увеличивающих радиационные риски, связанные с данной установкой или деятельностью, и к оценке степени, в которой проект в целом можно считать хорошо сбалансированным и отвечающим вероятностным критериям безопасности, если таковые были определены. В области безопасности реакторов в ВОБ для определения сценариев отказов применяется всеобъемлющий, структурированный подход. Он представляет собой концептуальное и математическое средство получения численных оценок риска. По возможности при вероятностном подходе используются реалистичные допущения и обеспечивается основа для непосредственного рассмотрения многих неопределенностей. Благодаря вероятностным подходам можно получить представление о показателях работы, надежности, взаимодействиях систем и о слабых местах в проектировании, применении глубокошелонированной защиты и рисках, которые невозможно рассчитать посредством детерминированного анализа.

Вставка 2.7. Детерминированные и вероятностные оценки безопасности [47, 48] (продолжение)

Усовершенствования в общем подходе к анализу безопасности позволяют улучшить интеграцию детерминированных и вероятностных подходов. Повышение качества используемых моделей и данных позволит проводить более реалистичный детерминированный анализ и применять результаты вероятностного подхода при выборе сценариев аварий. Возрастающее внимание уделяется использованию вероятностного подхода для уточнения того, каким образом необходимо подтверждать соблюдение детерминированных критериев безопасности, например путем определения доверительных интервалов, а также того, каким образом определяются запасы безопасности.

ВОБ может проводиться с использованием нескольких методов. Обычно используется подход, предусматривающий сочетание деревьев событий и деревьев отказов. Относительный размер (сложность) деревьев событий и деревьев отказов связан главным образом с тем, чему отдается предпочтение при анализе, и он также зависит от особенностей используемого программного обеспечения.

В деревьях событий раскрываются в общих чертах широкие характеристики аварийных последовательностей, начинающихся с исходного события и, в зависимости от успешного функционирования или отказа смягчающих ситуацию систем безопасности и связанных с безопасностью систем, приводящих к успешному итогу или к повреждению активной зоны или же к одному из уровней повреждения станции (требуется для ВОБ уровня 2). Деревья событий используются для моделирования отказа систем безопасности и вспомогательных систем при выполнении соответствующих функций безопасности.

Деревья отказов следует разрабатывать с целью получения логической модели отказа для состояний отказа систем безопасности, выявленных в результате анализа дерева событий. Критерий отказа, предусматривающий конечное событие дерева отказов для каждой функции системы безопасности, должен быть логической противоположностью критерия успешного исхода аварийной последовательности. Базовые события, моделируемые в деревьях отказов, должны соответствовать имеющимся данным об отказах элементов. Модели дерева отказов следует разрабатывать до уровня режимов значительного отказа отдельных элементов (насосов, клапанов, дизель-генераторов и т.п.) и отдельных ошибок человека, и они должны охватывать все базовые события, могущие приводить непосредственно или в сочетании с другими базовыми событиями к конечному событию дерева отказов.

Компания ТЕПКО начала проводить вероятностные оценки безопасности наряду с работами по детерминированному анализу безопасности более значимых аварийных последовательностей в начале 1990-х годов. В соответствии с практикой государственных МАГАТЭ в то время эти вероятностные оценки безопасности ограничивались лишь событиями на одноблочных АЭС. Хотя АЭС «Фукусима-дайити» расположена в районе, где возможны цунами, в этот анализ не были включены отказы по общей причине, вызываемые затоплением или продолжительной потерей электроснабжения [8]. В исследованиях по вероятностной оценке безопасности для АЭС «Фукусима-дайити» также не рассматривались внутреннее затопление или пожары, а допущения, связанные с действиями оператора, были оптимистичными.

Необходимо выполнить всеобъемлющую вероятностную оценку безопасности, включающую последовательности событий, связанных с внутренним затоплением, для определения уязвимости к затоплению важнейших систем станции, таких как аварийные дизель-генераторы и электрические распределительные устройства. В 1991 году в результате коррозии трубопровода возникла утечка воды интенсивностью 20 куб.м в час, причем вода проникла в помещение системы аварийного энергоснабжения реактора через дверь и кабельные проходки энергоблока 1 на АЭС «Фукусима-дайити». Это событие показало незащищенность от затопления при

размещении аварийных дизель-генераторов и электрических распределительных устройств в цокольных помещениях.

Посредством исследований по вероятностной оценке безопасности в ограниченном объеме была также проведена оценка руководящих материалов по управлению авариями на АЭС «Фукусима-дайити». Например, эти оценки включали использование системы вентилирования защитной оболочки путем применения подхода с использованием дерева отказов для моделирования отказов оборудования с вероятностью ошибки человека при ручном управлении. Но не было проведено более тщательной оценки с анализом проблем управления тяжелыми авариями, включая ограниченную подготовку кадров и руководящие материалы, которыми обеспечивается персонал станции. Не было признано то, что допущения в отношении вероятности отказов были чрезмерно оптимистичными, и исследования не привели к улучшению процедур и руководств [47] (см. вставку 2.8, касающуюся управления авариями).

На АЭС «Фукусима-дайити» имелся ряд слабых мест, которые не были в полной мере проанализированы с использованием вероятностной оценки безопасности, как рекомендовано в нормах безопасности МАГАТЭ [47, 49]. В качестве примеров можно указать отсутствие защиты аварийных дизель-генераторов, помещений аккумуляторных батарей и распределительных устройств от затопления и низкую вероятность успешного осуществления мер вмешательства при тяжелых авариях ввиду ограниченности руководящих материалов, подготовки кадров и знаний у персонала станции по вопросам управления авариями. Были недостаточно учтены запроектные аварии, что отразилось на способности поддерживать охлаждение активной зоны реактора, способности операторов контролировать важные параметры безопасности и управлении условиями тяжелой аварии (см. рис. 2.7).



РИС. 2.7. Недостаточный учет запроектных аварий повлиял на способность поддерживать охлаждение активной зоны реактора, способность операторов контролировать важные параметры безопасности и управление условиями тяжелой аварии [27, 52].

Вставка 2.8. Управление авариями [41]

Программу по управлению авариями следует разрабатывать для всех станций, независимо от общей частоты повреждения активной зоны и частоты выброса продуктов деления, рассчитанной для станции. Для разработки руководящих материалов по управлению авариями следует применять структурированный нисходящий подход. Осуществление этого подхода следует начинать с определения целей и стратегий, и он должен приводить к разработке процедур и руководств, охватывающих как предупреждение, так и ослабление (смягчение) аварий.

На верхнем уровне определяются следующие цели управления авариями: предупреждение значительного повреждения активной зоны; прекращение развития повреждения активной зоны после его начала; поддержание целостности защитной оболочки в течение максимально длительного времени; минимизация выбросов радиоактивных веществ; достижение долговременного стабильного состояния. Для достижения этих целей должен быть разработан ряд стратегий.

На основе этих стратегий следует разрабатывать соответствующие и эффективные меры по управлению авариями. В число таких мер входит модификация энергоблоков, если такая модификация считается важной с точки зрения управления запроектными и тяжелыми авариями, а также действий персонала. Эти меры включают ремонт вышедшего из строя оборудования. Для персонала, ответственного за выполнение мер по управлению авариями, следует разрабатывать соответствующие руководящие материалы в виде процедур и руководств.

При разработке руководящих материалов по управлению авариями следует учитывать в полном объеме проектные характеристики станции с использованием систем безопасности и систем, не связанных с безопасностью, включая возможное использование некоторых систем за пределами их первоначально установленной (предписанной) функции и ожидаемых эксплуатационных условий и, возможно, за пределами их проектных основ. Точку перехода ответственности и полномочий из режима предупреждения в режим ослабления аварий следует определять на основе должным образом разработанных и документально зафиксированных критериев.

При любом изменении конфигурации станции или при появлении новых результатов исследований физических явлений следует выяснять возможные последствия этого для руководящих материалов по управлению авариями и при необходимости следует проводить пересмотр руководящих материалов по управлению авариями.

Ограниченность требований регулирующего органа в отношении запроектных аварий способствовала тому, что операторы станции не учитывали надлежащим образом соответствующие риски. Это отмечалось в ходе миссии МАГАТЭ в рамках комплексных услуг по рассмотрению вопросов регулирования (ИРРС) в июне 2007 года, когда был сделан вывод о том, что «отсутствуют юридически оформленные регулирующие положения, касающиеся учета запроектных аварий, так как японские станции считаются достаточно безопасными благодаря обеспечению превентивных мер». Например, в рамках процесса периодического рассмотрения безопасности в Японии от эксплуатирующих организаций не требовалось обновления анализа с использованием новейших методов [52].

В программе управления авариями компании ТЕПКО было принято допущение, что электроснабжение переменного тока на АЭС «Фукусима-дайити» может быть оперативно восстановлено. Компания ТЕПКО также исходила из того, что другие системы обеспечения, такие как электроснабжение постоянного тока и подача воздуха высокого давления, будут функционировать в любое время и обеспечивать электропитание контрольно-измерительных приборов и работу клапанов. В программе и руководствах не учитывалась возможность возникновения тяжелой аварии одновременно на нескольких реакторных блоках или появления трудностей в

получении внешней поддержки из-за серьезных нарушений инфраструктуры за пределами площадки. Этот подход соответствовал типичной международной практике на тот момент. Авария показала, что эксплуатация некоторых систем в запроектных условиях требовала наличия исключительно высокой квалификации у операторов для поддержания фундаментальных функций безопасности.

Имевшиеся на АЭС «Фукусима-дайити» руководства по управлению авариями представляли собой пакет документации для использования операторами, включавший аварийные эксплуатационные процедуры и руководства по управлению тяжелыми авариями. Руководства по управлению авариями были доступны для использования персоналом службы технической поддержки компании ТЕПКО в организации, осуществляющей аварийное реагирование. В совокупности эти документы охватывали широкий круг мер по реагированию на проектные и запроектные аварии, в том числе и на тяжелые аварии. Отказ электроснабжения и отсутствие надлежащей информации о состоянии станции затруднили эффективное реагирование операторов на развивающиеся события. Руководства по управлению авариями не охватывали непредвиденные обстоятельства, связанные с выходом из строя контрольно-измерительных приборов, необходимых для индикации ключевых параметров, позволяющих операторам определять состояние АЭС. Кроме того, в руководствах не были предусмотрены рекомендации по управлению авариями в случае, когда выходят из строя все связанные с безопасностью электрические распределительные системы и впоследствии многие зависящие от них системы безопасности.

Персонал не получил подготовки для выполнения действий по управлению авариями в условиях длительного обесточивания станции или ограниченности или отсутствия информации. Несмотря на это эксплуатационный персонал должным образом выполнял свои функции в трудных условиях, возникших в результате аварии. Однако невозможность получения важнейшей информации о состоянии станции и необходимость действовать импровизированно при осуществлении мер по смягчению последствий затрудняли реагирование. Отсутствие в нормативной базе требований к управлению тяжелыми авариями также усугубляло неподготовленность компании ТЕПКО. В 1992 году КЯБ опубликовала руководство по управлению авариями [23], и в том же году министерство международной торговли и промышленности (ММТП) опубликовало дорожную карту по управлению авариями. Министерство также предложило ядерным эксплуатирующим организациям принять меры по обеспечению управления более тяжелыми авариями, чем те, которые учитывались в первоначальном проекте. Однако это не было обязательным требованием и привело к тому, что эксплуатирующими организациями были осуществлены лишь ограниченные мероприятия добровольного характера. Миссия ИРПС, проведенная МАГАТЭ в Японии в 2007 году, указала на необходимость ввода в действие регулирующих требований для запроектных аварий и предложила АЯПБ продолжить разработку систематического подхода к рассмотрению таких событий, а также к взаимодополняющему использованию вероятностной оценки безопасности и процедур управления тяжелыми авариями [51]. Предложения этой миссии по рассмотрению не послужили стимулом к осуществлению дальнейших усилий в этой области.

2.2.5. Оценка эффективности регулирующих органов

Регулирование ядерной безопасности в Японии на момент аварии осуществлялось несколькими организациями, наделенными различными функциями и обязанностями и связанными между собой сложными взаимоотношениями. Полностью не было

ясно, на какие организации возложены ответственность и полномочия по выпуску обязательных для исполнения инструкций, регламентирующих безотлагательное реагирование на проблемы обеспечения безопасности.

Программа регулирующих инспекций была жестко структурирована, что снижало возможности регулирующего органа проводить проверки безопасности в надлежащее время и выявлять новые потенциальные проблемы обеспечения безопасности.

Регулирующие положения, руководства и процедуры, действовавшие на момент аварии, не соответствовали в полной мере международной практике в некоторых ключевых областях, и прежде всего в том, что касается периодических рассмотрений безопасности, повторных оценок опасностей, управления тяжелыми авариями и культуры безопасности.

В юридической основе по ядерной безопасности, действовавшей в Японии во время аварии, правительство установило основные законы, которые дополнялись законодательными актами более низкого уровня и издаваемыми министерствами постановлениями и нормативными актами. Общая структура законодательной и регулирующей основы в то время, когда произошла авария, показана на рис. 2.8 и рис. 2.9. Регулирующая структура в Японии в то время, когда произошла авария, состояла из ряда правительственных ведомств и других организаций с обязанностями в области ядерной безопасности. Эта структура была дважды пересмотрена после радиационного инцидента на борту атомного судна «Муцу» в 1974 году и критической аварии на установке JCO в Токаймура в 1999 году, но некоторые из основных вопросов, связанных с четкостью ролей и обязанностей, так и не были рассмотрены [53, 54]. После миссии ИРРС МАГАТЭ в 2007 году было сформулировано предложение о необходимости улучшить, уточнить и разъяснить ряд связанных с регулированием аспектов [51], таких, как регулирующие положения в отношении трактовки запроектных аварий и разъяснения в отношении ролей и обязанностей АЯПБ и КЯБ в рамках японской системы регулирования.

Министерство экономики, торговли и промышленности (МЭТП) несет ответственность за политику в области развития и использования ядерной энергии, а также за регулирование коммерческих ядерных установок. В рамках МЭТП Агентство по природным ресурсам и энергии (АПРЭ) отвечало за обеспечение национального энергоснабжения, в том числе за содействие развитию ядерной энергетики. АЯПБ было создано в 2001 году как специализированное учреждение, аффилированное с АПРЭ, и на него была возложена ответственность в качестве регулирующего органа по ядерной безопасности. В соответствии с законодательством, в случае конфликта между безопасностью и содействием развитию министр должен отдавать приоритет безопасности. На основе такого ранжирования приоритетов в МЭТП был разработан национальный стратегический план, и миссия ИРРС МАГАТЭ в 2007 году сделала вывод о том, что АЯПБ эффективно независима от АПРЭ при принятии своих решений в области регулирования. Однако этой миссией было также предложено, чтобы независимость АЯПБ от МЭТП была более четко отражена в законодательстве.

На Министерство образования, культуры, спорта, науки и технологии был также возложен ряд обязанностей по регулированию, включая надзор за радиационной защитой и гарантиями в отношении ядерных материалов на АЭС, исследовательских реакторах и некоторых установках, на которых проводятся НИОКР для ядерной

энергетики. Этому министерству также подчинялись Национальный институт радиологических наук (НИРН) и Японское агентство по атомной энергии (ЯААЭ).

КЯБ, находящаяся в Секретариате кабинета министров и подчиняющаяся премьер-министру, является независимым органом с консультативными и руководящими функциями в рамках ядерного регулирования. Она разработала и опубликовала связанные с политикой в области ядерной безопасности документы и регулирующие руководства, которые АЯПБ использовала в своей работе в области регулирования. КЯБ была в законодательном порядке уполномочена руководить работой АЯПБ, причем АЯПБ была ей подотчетна. Сотрудники КЯБ также проводили независимое рассмотрение и оценку заявок на выдачу лицензий для АЭС и подтверждали выводы, сделанные АЯПБ. Миссия ИРРС МАГАТЭ в 2007 году сделала вывод о том, что необходимо разъяснить роль АЯПБ как регулирующего органа по отношению к КЯБ.

АЯПБ была поддержана Организацией по безопасности ядерной энергетики Японии (ОБЯЭ), которая была создана в 2003 году после принятия в 2002 году соответствующего закона [51]. Основными функциями ОБЯЭ являлись проведение инспекций на ядерных объектах, рассмотрение периодических инспекций лицензиатов, обеспечение готовности к ядерным аварийным ситуациям и координация связанных с безопасностью исследовательских проектов. Для того чтобы регулирующий орган мог самостоятельно выявлять проблемы безопасности на станциях, необходима всеобъемлющая программа инспекций. В Японии в то время, когда произошла авария, инспекции, несмотря на усилия АЯПБ [56], были жестко структурированы, причем их тип и частота были установлены законом. В 2011 году в докладе Японии Конвенции по ядерной безопасности было заявлено, что деятельность эксплуатирующих организаций в области управления безопасностью регулируется инспекциями эксплуатационной безопасности, одобренными АЯПБ. АЯПБ ежеквартально проводила инспекции с целью проверки выполнения оператором рекомендаций периодических рассматриваний безопасности. АЯПБ и ОБЯЭ также проводили периодические инспекции с интервалами, не превышавшими 13 месяцев, причем основное внимание в них уделялось техническому обслуживанию оператором конструкций, систем и элементов АЭС. Усилия были сосредоточены на значимых с точки зрения безопасности конструкциях, системах и элементах, например относящихся к системе останова реактора, первому контуру теплоносителя, системе отвода остаточного тепловыделения и системе защитной оболочки. Эти процедуры регулирования дополняли собственные усилия операторов, осуществлявших управление обходами и техническим обслуживанием ядерных установок, периодические оценки и технические оценки старения АЭС. АЯПБ располагала лишь ограниченными возможностями расширения сферы охвата инспекций за пределы юридически определенных рамок, что сужало ее возможности по выявлению недостатков и отклонений и обеспечению учета извлеченных из опыта уроков [51]. Такой подход ограничивал эффективность регулирующих инспекций в плане выявления проблем безопасности и проверки безопасности деятельности лицензиатов и соблюдения ими требований.

Законодательство	Постановление кабинета министров	Министерское распоряжение	Министерское публичное уведомление
Основной закон об атомной энергии			
Закон о регулировании деятельности в области использования реакторных установок	Постановление кабинета министров о применении Закона о регулировании деятельности в области использования реакторных установок	Министерское распоряжение о коммерческих энергетических реакторных установках	Министерское публичное уведомление о пределе дозы, основанном на положениях, касающихся коммерческих энергетических реакторных установок
		Министерское распоряжение о реакторных установках, находящихся на стадии исследований и разработок	Министерское публичное уведомление о критериях, применяемых в отношении лица, отвечающего за эксплуатацию
			Министерское публичное уведомление о технических деталях перевозки ядерных топливных материалов и т.п. на заводах или предприятиях
			Министерское публичное уведомление о важном оборудовании, имеющем отношение к безопасности
Закон о предотвращении радиационной опасности	Постановление кабинета министров о применении Закона о предотвращении радиационной опасности	Министерское распоряжение о применении Закона о предотвращении радиационной опасности	Министерское публичное уведомление о пределе дозы, основанном на положениях, применяемых к реакторным установкам, находящимся на стадии исследований и разработок
Закон об электроэнергетических предприятиях	Постановление кабинета министров о применении Закона об электроэнергетических предприятиях	Министерское распоряжение о применении Закона об электроэнергетических предприятиях	Министерское публичное уведомление о технических требованиях, касающихся эквивалента доз и т.п., полученных в результате облучения, связанного с ядерными энергогенерирующими установками
		Министерское распоряжение о разработке технических стандартов для ядерных энергогенерирующих установок	
		Министерское распоряжение о разработке технических требований, касающихся ядерных топливных материалов энергогенерирующих установок	
Основной закон о мерах противодействия стихийным бедствиям			
Закон о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	Постановление кабинета министров об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	Министерское распоряжение об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	

РИС. 2.8. Законодательная и регулирующая основа безопасности ядерных установок в Японии во время аварии [55].

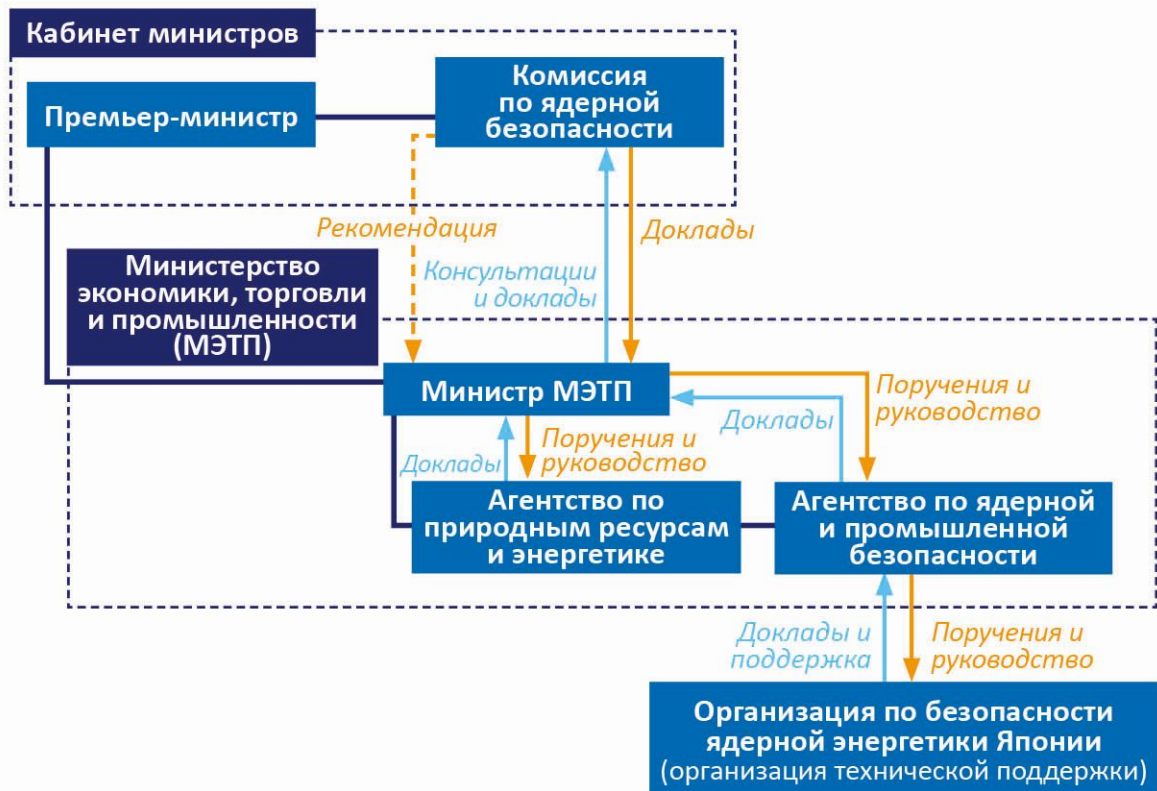


Рис. 2.9. Место АЯПБ в структуре правительства Японии.

Комиссией по ядерной безопасности был выпущен ряд руководящих принципов, которые рассматривались в качестве требований при осуществлении практической деятельности [34]. Эти руководства дополнялись принятыми на основе консенсуса нормами, опубликованными профессиональными и научными обществами. Однако регулирующие положения и руководства в некоторых ключевых областях не полностью соответствовали международной практике в то время, когда произошла авария. Наиболее заметные расхождения связаны с периодическими рассматриваниями безопасности, повторной оценкой опасностей, управлением тяжелыми авариями и культурой безопасности [52, 57, 58].

Миссией ИРПС МАГАТЭ в 2007 году был сделан вывод о том, что АЯПБ в состоянии внести важный вклад в разработку регулирующих положений по безопасности. Миссия также отметила, что АЯПБ необходимо иметь возможность изменять свою

инспекционную программу на гибкой основе, с тем чтобы оптимизировать ее эффективность и область сосредоточения усилий и иметь возможность проводить инспекции безопасности с выбором места и времени по своему усмотрению [51]. Миссией ИРРС МАГАТЭ был также сделан вывод, что АЯПБ следует содействовать установлению честных и открытых отношений с ядерной промышленностью и эксплуатирующими организациями для доведения информации о связанных с регулированием проблемах непосредственно до уровня руководства.

Создание нового регулирующего органа

В сентябре 2012 года было создано Управление по ядерному регулированию (УЯР) [59]. УЯР проводило рассмотрение руководящих принципов и регулирующих требований в области безопасности с целью разработки новых регулирующих положений по защите населения и охране окружающей среды. В 2013 году новые регулирующие требования для коммерческих энергетических реакторов вступили в силу. Исходя из концепции глубокоэшелонированной защиты, большое значение уделялось третьему и четвертому уровням и предотвращению одновременной утраты всех функций безопасности по общим причинам. Были подвергнуты переоценке предыдущие предположения о последствиях землетрясений, цунами и других внешних событий, таких как извержения вулканов, торнадо и лесные пожары, и были рассмотрены контрмеры по обеспечению ядерной безопасности с учетом этих внешних событий. Были также рассмотрены контрмеры в отношении внутренних пожаров и внутреннего затопления и повышения надежности энергоснабжения на площадке и за ее пределами с целью обеспечения готовности к возможному обесточиванию станции.

Кроме того, требовались также контрмеры в рамках реагирования на тяжелую аварию с повреждением активной зоны, повреждением защитной оболочки и распространением радиоактивных материалов, усиленные меры по обеспечению впрыска воды в бассейны выдержки отработавшего топлива, контрмеры в случае аварии с падением самолета и сооружение здания для центра аварийного реагирования.

Примерами новых регулирующих требований в связи с аварией на АЭС «Фукусима-дайти» являются: 1) ужесточенные требования в отношении сейсмостойкости/цунамиустойчивости; 2) ужесточенные или вновь введенные требования в отношении проектных основ; и 3) вновь введенные требования в отношении мер против тяжелых аварий [60].

Были интегрированы в УЯР роли и обязанности, ранее установленные для различных неправительственных организаций. УЯР осуществляет юрисдикцию в отношении некоторых вопросов НИИРН и ЯААЭ. Главный орган по обеспечению технической поддержки в области ядерной безопасности - ОБЯЭ 1 марта 2014 года был объединен с УЯР.

УЯР установило согласующиеся с нормами безопасности МАГАТЭ процессы периодического обзора безопасности, которые начали действовать в декабре 2013 года. В соответствии с этой системой эксплуатирующие ядерные реакторы лицензиаты должны производить всестороннюю оценку безопасности реакторов и представлять УЯР в течение шести месяцев после завершения периодической инспекции результаты с указанием следующего:

- соответствие регуляторным требованиям;
- принятие на добровольной основе мер по повышению уровня безопасности;

- оценка и обзор возможностей по повышению уровня безопасности и вероятностная оценка риска;
- комплексная переоценка на основе вышеуказанных результатов и планов действий по повышению уровня безопасности.

Япония попросила МАГАТЭ провести к концу 2015 года миссию ИРРС с целью повышения ядерной безопасности и расширения компетентности УЯР как независимого регулирующего органа в ядерной области с помощью непрерывного, прозрачного и открытого процесса изучения.

2.2.6. Оценка человеческих и организационных факторов

До аварии базовая исходная предпосылка в Японии сводилась к тому, что конструкция АЭС и предусматриваемые меры безопасности являются достаточно надежными и позволяют станциям выдерживать воздействие маловероятных внешних событий с серьезными последствиями.

Вследствие этой базовой предпосылки о безопасности АЭС в Японии в организациях и у работающих в них сотрудников сформировалась тенденция не подвергать сомнению уровень безопасности. Укоренившееся среди заинтересованных сторон базовое представление о надежности технических проектов АЭС привело к ситуации, когда оперативное внедрение усовершенствований в области безопасности не обеспечивалось.

Авария на АЭС "Фукусима-дайити" показала, что в целях более эффективного выявления уязвимых мест на АЭС необходимо принять комплексный подход, учитывающий сложные линии взаимодействия между людьми, организациями и технологиями.

До аварии в недостаточной степени учитывались маловероятные внешние события с серьезными последствиями, которые оставались невыявленными. Отчасти причиной этого было укоренившееся на протяжении многих десятилетий в Японии базовое представление, что надежность технического проекта АЭС обеспечивает достаточную защиту от постулируемых рисков. Поэтому события, которые привели к аварии на АЭС «Фукусима-дайити», выходили за рамки базовых допущений, которыми руководствовались эксплуатирующие организации, регулирующий орган и правительство. Эти базовые допущения повлияли на решения и действия широкого круга заинтересованных сторон, не ограничивающегося только теми, кто непосредственно участвовал в эксплуатации и регулировании АЭС.

Вставка 2.9. Культура безопасности

В INSAG-4 (издание Международной группы по ядерной безопасности (ИНСАГ)) культура безопасности определена как: «совокупность характеристик и отношения к делу организаций и людей, которая обеспечивает уделение должного внимания вопросам безопасности АЭС, как обладающим высшим приоритетом» [61].

В документах Серии норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-3.5 [62] и Серии докладов по безопасности № 11 [63] четко указано, что культура безопасности сама по себе является частью культуры организации в целом, причем последняя представляет собой сочетание общих ценностей, взглядов и моделей поведения, придающих организации специфический характер.

Как правило, развитие и укрепление культуры безопасности организации происходит в несколько этапов. В документе Серии докладов по безопасности № 11 указаны три этапа:

- 1) безопасность зависит от соблюдения требований и базируется главным образом на правилах и регулирующих положениях. На данном этапе безопасность рассматривается как технический вопрос, причем считается, что для обеспечения безопасности достаточно соблюдать вводимые извне правила и регулирующие положения;
- 2) хорошие показатели безопасности становятся организационной целью и трактуются в первую очередь как нормативные параметры или цели безопасности;
- 3) безопасность рассматривается как непрерывный процесс совершенствования, в который каждый может внести свой вклад.

В действительности эти три этапа не имеют четких границ, и в любой организации некоторые части культуры безопасности могут опережать другие в процессе укрепления культуры безопасности.

Базовые допущения повлияли на решение АЯПБ не осуществлять достаточные полномочия, и поэтому АЯПБ не смогла подвергнуть сомнению другие допущения в отношении ядерной безопасности. Выполнению ее функций по надзору создавали помехи отсутствие надлежащей нормативной базы, а также четко выраженные юридические ограничения [6, 51]. Например, Миссией ИРПС МАГАТЭ в 2007 году был сделан вывод о том, что инспекторы не имеют беспрепятственного доступа к энергокомпаниям лицензиатов для проведения инспекций и им разрешено проводить инспекции только в течение определенных периодов времени. Ввиду базового допущения о том, что надежность технического проекта обеспечивает достаточную защиту от постулируемых рисков, АЯПБ действовало в целом менее комплексно и в большей степени по принципу реагирования, в некоторых случаях концентрируя внимание на краткосрочной деятельности, и не занималось более фундаментальными и долгосрочными проблемами, такими как учет и применение норм безопасности МАГАТЭ. В некоторых случаях из-за опасений, что у общественности может создаться впечатление о том, что АЭС, вопреки базовому допущению, небезопасны [5], не обновлялись регулирующие положения или не проводились сложные аварийные учения.

Такое же базовое допущение о безопасности АЭС также повлияло на действия компании ТЕРКО, вселив в нее уверенность в способности технического оснащения ее станций предотвращать возникновение тяжелых ядерных аварий. Это означало, что ТЕРКО оказалась недостаточно подготовленной к смягчению последствий аварии, случившейся в марте 2011 года [6, 7, 65]. Риск затопления, вызывающего ядерную аварию, выходил за рамки базового допущения; поэтому не всегда соблюдались новейшие международные руководящие принципы в области управления тяжелыми

авариями [66]. В базовом допущении также исключалась возможность возникновения отказа по общей причине, который мог привести к обесточиванию нескольких энергоблоков на станции.

Тот факт, что соответствующие организации и их персонал не ставили под сомнение и не пытались пересмотреть базовые допущения в отношении ядерной безопасности, свидетельствует о недостаточной культуре безопасности. Как указано во вставке 2.9, на третьем этапе программы по культуре безопасности определяется необходимость иметь постоянный процесс совершенствования, который должен включать в себя периодический пересмотр достаточности ядерной безопасности. Один из способов критического анализа базовых допущений заключается в принятии системного подхода к ядерной безопасности и понимании сложности всего спектра взаимодействий между людскими, организационными и техническими факторами. Недостаточный учет этих взаимодействий явился одним из факторов, способствовавших аварии, поскольку базовое допущение осталось невыявленным.

Вставка 2.10. Базовые допущения [64]

Для понимания в полном объеме культуры безопасности должны быть определены артефакты и поведение, признаваемые ценности и базовые допущения, образующие три уровня концепции культуры применительно к безопасности. Применение трехуровневой модели к конкретной организации будет отражать уникальность этой организации и позволит установить логические связи между артефактами, признаваемыми ценностями и базовыми допущениями. В приведенных ниже иллюстративных примерах логические связи будут неявными, так как они не соотносятся с какой-либо конкретной организацией.

Артефакты легче всего наблюдать, но наиболее трудно интерпретировать их значение. Знание признаваемых ценностей поможет определить значение, но значение компонентов на уровне артефактов станет очевидным лишь после того, как поняты базовые допущения.

Артефакты и поведение: архитектура, приветственные ритуалы, стиль одежды, формы обращения – наглядны;

признаваемые ценности: стратегии, цели, философия – могут быть выявлены;

базовые допущения: природа человека, основа уважения людей – фиксируются подсознательно и обычно подразумеваются.

Базовые допущения находятся на самом глубинном уровне культуры. Они являются основополагающими убеждениями, которые настолько очевидны, что их придерживается большинство людей культурной группы, но не на сознательном уровне. Для понимания какой-либо культуры необходимо добраться до сути этих основных допущений, которые действуют. В случае организации они будут также отражать ее историю и ценности, убеждения и предположения основателей и ключевых лидеров, которые сделали ее успешной. Базовые допущения редко обсуждаются и сопоставляются, и их чрезвычайно трудно изменить.

Вставка 2.11. Системный подход к обеспечению безопасности [67]

При системном подходе к обеспечению безопасности анализируется система в целом путем рассмотрения динамических взаимодействий в рамках всех соответствующих факторов системы и между ними – отдельных факторов (например, знаний, идей, решений, действий), технических факторов (например, технологий, инструментальной оснастки, оборудования) и организационных факторов (например, системы управления, организационной структуры, руководства, ресурсов).

Системный подход к безопасности работает посредством рассмотрения этой сложной системы взаимодействий в совокупности. Например, важными факторами при рассмотрении этих взаимодействий на АЭС являются факторы, связанные с людьми, такие как знания, решения, идеи, эмоции и действия. Технические факторы включают в себя физические аспекты АЭС и весь набор технических инструментов и оборудования, используемых для эксплуатации. Организационные факторы включают в себя систему управления, организационную структуру, руководство станции и людские и финансовые ресурсы. Учет взаимодействия между связанными с людьми, техническими и организационными факторами выявляет сложность и нелинейность операций на АЭС. Необходимо добиться лучшего понимания того, как слабые и сильные стороны всех этих факторов оказывают влияние друг на друга, и содействовать инициативному снижению или устранению рисков.

Тенденция большинства заинтересованных сторон к тому, чтобы не подвергать сомнению достаточность имеющихся функций обеспечения безопасности на станции, подкрепляла предположение, что надежность технического проекта станции и существующие меры безопасности достаточны для защиты станции. Это привело к тому, что необходимые усовершенствования в области безопасности не осуществлялись инициативным и оперативным образом [5–7].

Операторы, осуществлявшие непосредственное реагирование на ранних стадиях аварии, делали это в экстремальных условиях. Обеспокоенность и стресс, связанные с их действиями, еще более усугублялись в силу того, что зачастую у них не имелось информации о безопасности семьи или состоянии их домов. Находившиеся на площадке люди не знали, как будет развиваться авария, что создавало значительную неопределенность; несмотря на это, они делали все, что могли, для защиты людей и охраны окружающей среды. Ситуация, с которой столкнулся оператор, была беспрецедентной: было необходимо бороться с аварией на нескольких энергоблоках в условиях национального кризиса с сильно поврежденной инфраструктурой. Это создавало исключительно неблагоприятные с физической и психологической точек зрения условия работы.

Взаимодействие людских, организационных и технических факторов во всех заинтересованных организациях и между различными уровнями внутри каждой организации осуществляются в рамках более широкой сферы охвата культуры безопасности организации и тем самым отражают культуру безопасности в ней. С помощью системного подхода к безопасности, при котором анализируются людские, организационные и технические факторы, организация может лучше подготовиться к неожиданному событию. Ядерная безопасность будет также зависеть от отношения людей к работе и их поведения [67]. Человеческие и организационные факторы, не приводящие к оспариванию или изучению базовых допущений в отношении безопасности, могут приводить к принятию организациями и отдельными лицами решений и выполнению ими действий, способных непреднамеренно повлиять негативным образом на ядерную безопасность. Важно помнить о таких базовых допущениях и вырабатывать понимание их влияния на ядерную безопасность.

2.3. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ

В результате оценки связанных с ядерной безопасностью соображений, касающихся аварии, был сформулирован ряд замечаний и уроков.

- **Оценка опасных природных явлений должна быть достаточно консервативной. Учет главным образом исторических данных при разработке проектных основ для АЭС является недостаточным для характеристики рисков, связанных с экстремальными опасными природными явлениями. Даже в случаях, когда имеются всеобъемлющие данные, в прогнозировании опасных природных явлений сохраняются значительные неопределенности из-за относительно коротких периодов наблюдения.**

Экстремальные природные явления с весьма низкой вероятностью возникновения могут приводить к значительным последствиям, и прогнозирование экстремальных опасных природных явлений остается по-прежнему сложным и противоречивым ввиду наличия неопределенностей. Кроме того, по мере появления новой информации и совершенствования методов анализа в течение срока эксплуатации АЭС такие прогнозы могут меняться. В этой связи необходимо использовать все имеющиеся соответствующие данные, как полученные внутри страны, так и за рубежом, для получения достоверного прогноза опасности, определения надежных и реалистичных основ проекта с учетом экстремальных природных явлений и разработки АЭС с достаточными запасами безопасности.

- **Необходимо на периодической основе проводить переоценку безопасности АЭС с целью учета новых знаний и безотлагательно осуществлять требующиеся корректирующие или компенсирующие меры.**

Программа периодического рассмотрения безопасности на АЭС "Фукусима-дайити" не обеспечивала повышения безопасности на основе регулирующих требований. ТЕРКО проводила повторную оценку на добровольной основе, учитывая появляющиеся новые знания, включая новую информацию и данные. При появлении пересмотренной оценки опасности, приводящей к повышению предыдущих прогнозов, важно обеспечивать безопасность установки посредством осуществления промежуточных корректирующих мер с учетом новой оценки опасности, пока подтверждается точность пересмотренного значения. Если точность новой оценки опасности подтверждена, эксплуатирующей организации и регулирующему органу необходимо согласовать график и всеобъемлющий план действий с целью выработки метода борьбы с такими повышенными опасностями и обеспечения безопасности станции.

- **При проведении оценки опасных природных явлений необходимо учитывать возможность комбинации одновременно или последовательно происходящих событий и их совокупное воздействие на АЭС. В оценке опасных природных явлений должно учитываться также их воздействие на несколько энергоблоков, размещенных на АЭС.**

Авария на АЭС "Фукусима-дайити" вскрыла необходимость в полном объеме исследовать возможность сочетания опасных природных явлений, затрагивающих несколько блоков на площадке АЭС. При рассмотрении мер по смягчению последствий аварии и восстановительных мероприятий необходимо учитывать сложные сценарии, возникающие в результате сочетания опасных природных явлений.

- **В программы учета опыта эксплуатации необходимо включать данные об опыте, накопленные как на национальном, так и международном уровнях. Необходимо оперативно осуществлять меры по повышению безопасности на базе программ учета опыта эксплуатации. Использование опыта эксплуатации должно проходить периодическую независимую оценку.**

Программа оценки опыта эксплуатации на АЭС "Фукусима-дайти" не привела к изменениям конструкции на основе учета как внутреннего, так и международного опыта эксплуатации в ситуациях, связанных с затоплением. Необходимо, чтобы рассмотрение опыта эксплуатации было стандартной частью процессов надзора на станции с учетом таких соответствующих источников данных, как Информационная система по инцидентам МАГАТЭ и Агентства по ядерной энергии ОЭСР. Необходимо, чтобы регулирующие органы проводили независимые рассмотрения национального и международного опыта эксплуатации с целью подтверждения того, что эксплуатирующие организации предпринимают конкретные меры по повышению безопасности.

- **Концепция глубокоэшелонированной защиты остается в силе, однако ее реализация должна быть укреплена на всех уровнях путем надлежащего осуществления принципов независимости, резервирования, неодинаковости и обеспечения защиты от внутренних и внешних опасностей. Необходимо сосредоточить внимание не только на предотвращении аварий, но также и на совершенствовании мер по смягчению их последствий.**

Затопление в результате цунами повлияло одновременно на первые три уровня глубокоэшелонированной защиты, приведя к отказам по общей причине оборудования и систем. Операторы, даже столкнувшись с этой ситуацией, смогли применить, хотя и с опозданием, эффективные стратегии смягчения последствий аварии. Все уровни глубокоэшелонированной защиты, связанные как с предотвращением, так и со смягчением последствий аварий, следует укрепить путем обеспечения надлежащей независимости, резервирования, разнообразия и защиты, с тем чтобы не возникла угроза их одновременного преодоления при воздействии внешней или внутренней опасности и они не были подвержены отказу по общей причине. Применение концепции глубокоэшелонированной защиты необходимо периодически пересматривать в течение всего срока службы АЭС для обеспечения того, чтобы любые изменения в плане уязвимости станции к воздействию внешних событий были уяснены и чтобы надлежащие изменения в конструкции были предусмотрены и внедрены. В ходе периодических рассмотрений безопасности необходимо учитывать экстремальные внешние опасности, поскольку они могут вызывать отказы по общей причине, способные поставить под угрозу одновременно несколько уровней глубокоэшелонированной защиты.

- **Необходимо, чтобы системы контроля и управления сохраняли работоспособность во время запроектных аварий, обеспечивая мониторинг важнейших параметров безопасности станции и облегчая эксплуатацию станции.**

Утрата работоспособности контрольно-измерительных приборов и систем управления и защиты в ходе аварии на АЭС "Фукусима-дайти" по существу лишила операторов информации о фактических условиях на станции. Утрата работоспособности контрольно-измерительных приборов и систем управления и защиты оказала серьезное влияние на усилия по предотвращению тяжелой аварии или смягчению ее последствий. Необходимо тщательно определить

объем и характер контрольно-измерительных приборов и систем управления и защиты в соответствии с характеристиками проекта станции, включая бассейны выдержки отработавшего топлива. Необходимо обеспечить защиту систем, чтобы они были работоспособны, когда это необходимо. Это продемонстрировало также необходимость совершенствования стратегий, позволяющих контролировать важнейшее оборудование вручную.

- **Для отвода остаточного тепла должны быть предусмотрены стабильные и надежные системы охлаждения, способные функционировать как в проектных, так и в запроектных условиях.**

На АЭС "Фукусима-дайити" операторы после некоторой задержки в конечном итоге смогли задействовать переносное оборудование для впрыска воды в реакторы. Системы охлаждения, основанные на установленном или переносном оборудовании, необходимо подвергнуть сертификации и тестированию для обеспечения того, чтобы они могли функционировать и могли быть развернуты операторами, когда это необходимо.

- **Необходимо обеспечивать действие надежной функции локализации в условиях запроектных аварий в целях предотвращения значительных выбросов радиоактивных материалов в окружающую среду.**

На АЭС "Фукусима-дайити" отказ вентилирования защитной оболочки и последующее повреждение здания реактора в результате взрыва водорода привели к значительному выбросу радиоактивных материалов в окружающую среду. Необходимо провести оценку функции локализации, с тем чтобы обеспечить, что при проектировании оборудования, предназначенного для сохранения целостности системы локализации, учтены все возможные опасности.

- **Необходимо проводить всеобъемлющие вероятностные и детерминированные анализы безопасности для подтверждения способности станции выдерживать соответствующие запроектные аварии и для обеспечения высокой степени уверенности в надежности проекта станции.**

Анализ безопасности может использоваться как для оценки, так и для разработки стратегий реагирования на запроектные аварии и может включать использование как детерминированных, так и вероятностных методов. Исследования методами вероятностного анализа безопасности, проведенные для АЭС "Фукусима-дайити", имели ограниченный масштаб и не предусматривали оценку возможности затопления из внутренних и внешних источников. Ограничения в этих исследованиях способствовали ограниченности сферы охвата процедур управления авариями, доступных операторам.

- **Положения по управлению авариями должны быть всеобъемлющими, тщательно разработанными и актуальными. Они должны разрабатываться на базе всеобъемлющего набора исходных событий и условий на станции и учитывать также возможность возникновения аварий на нескольких энергоблоках многоблочной станции.**

Процедуры управления авариями, доступные операторам на АЭС "Фукусима-дайити", не учитывали возможности возникновения аварии сразу на нескольких энергоблоках, а также не содержали руководящих материалов на случай полного отказа электроснабжения. Необходимо, чтобы положения по управлению авариями базировались на анализе с учетом специфики станции, выполненном с использованием как детерминированных, так и вероятностных методов. Необходимо, чтобы в руководящих материалах и процедурах по управлению авариями учитывалась возможность возникновения событий,

происходящих одновременно на нескольких энергоблоках и в бассейнах выдержки отработавшего топлива. В них также необходимо учитывать возможность разрушения региональной инфраструктуры, включая серьезные нарушения в работе связи, транспорта и энергокомпаний. В положениях по управлению авариями следует также учитывать наилучшие имеющиеся руководящие материалы, разработанные международным сообществом, причем их следует периодически обновлять с целью учета новой информации.

- **Подготовка кадров, учения и тренировки должны включать отработку действия в условиях постулируемой тяжелой аварии в целях обеспечения максимально полной профессиональной подготовки операторов. Такая подготовка кадров должна включать имитационное использование реального оборудования, применяемого при управлении тяжелой аварией.**

Не проводилось специального обучения операторов АЭС "Фукусима-дайити" приемам ручного управления такими системами, как изоляционный конденсатор энергоблока 1 и пожарные автомобили при использовании их в качестве альтернативного источника для впрыска воды под низким давлением. Особое внимание необходимо уделить обучению персонала выполнению действий в условиях продолжительного полного отказа энергоснабжения с ограниченной информацией о состоянии станции и в отсутствие информации о важных параметрах безопасности. При подготовке кадров, учениях и тренировках необходимо реалистично моделировать развитие тяжелых аварий, включая одновременное возникновение аварий на нескольких энергоблоках, расположенных на одной площадке. Необходимо, чтобы подготовкой кадров, учениями и тренировками были охвачены не только персонал, осуществляющий управление аварией на площадке, но и все лица, осуществляющие реагирование за пределами площадки в эксплуатирующей организации на местном, региональном и национальном уровнях.

- **Для обеспечения эффективного регулирующего надзора за безопасностью ядерных установок необходимо, чтобы регулирующий орган был независимым и обладал юридическими полномочиями, технической компетенцией и сильной культурой безопасности.**

АЯПБ не обладало достаточными полномочиями для принятия необходимых мер, включая инспекции на подлежащих регулированию установках. Необходимым условием обеспечения ядерной безопасности является способность регулирующего органа принимать независимые решения по вопросам безопасности на протяжении всего периода эксплуатации установки. Для того чтобы обеспечить такое независимое принятие решений, регулирующий орган должен обладать надлежащей компетентностью и должен обладать достаточными людскими ресурсами, надлежащими юридическими полномочиями – включая право приостановить работу и/или вводить в эксплуатирующих организациях усовершенствования в области безопасности – и надлежащими финансовыми ресурсами. Регулирующему органу необходимы полномочия по адаптации его программы инспекций в свете новой информации по безопасности. Он должен также иметь возможность обеспечивать периодический пересмотр национальных регулирующих требований и соответствующих руководящих принципов для оценки безопасности ядерных установок в соответствии с новыми научно-техническими разработками, опытом работы и международными нормами и практикой.

- **В целях содействия развитию и укрепления культуры безопасности необходимо, чтобы как отдельные лица, так и организации постоянно критически оценивали или пересматривали сложившиеся предпосылки относительно ядерной безопасности и последствия решений и действий, могущих повлиять на ядерную безопасность.**

Лица и организации могут добиться этого посредством выработки критического подхода для определения характера, границ и потенциальных угроз, присущих их общим допущениям в отношении ядерной безопасности. Необходима институционализация непрерывного диалога в рамках организации и между различными организациями по вопросам, касающимся ядерной безопасности и их значимости и воздействия на решения и действия. Периодические оценки культуры безопасности могут содействовать обсуждению базовых допущений и соответствующему диалогу.

- **Системный подход к безопасности должен учитывать взаимодействие между человеческими, организационными и техническими факторами. Этот подход должен применяться на протяжении всего жизненного цикла ядерных установок.**

Авария на АЭС "Фукусима-дайти" показала, что трудно определить слабые места в системах, которые связаны со сложными взаимодействиями между людьми, организациями и технологией, поскольку может оставаться невыявленным базовое допущение относительно ядерной безопасности. Для понимания функционирования и взаимодействия компонентов всей системы при нормальной эксплуатации и в аварийных условиях необходимо применять системный подход, предусматривающий учет человеческих, технологических и организационных факторов.

3. АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ

В настоящем разделе описаны основные события и меры реагирования с момента начала аварии 11 марта 2011 года. В нем также рассматривается национальная система аварийной готовности и реагирования, существовавшая в Японии до аварии, и международная система аварийной готовности и реагирования.

Во вставке 3.1 вкратце изложены основные международные требования в отношении готовности к реагированию на ядерную аварийную ситуацию, которые существовали до аварии.

Вставка 3.1. Основные требования в отношении готовности к реагированию на ядерную аварийную ситуацию, существовавшие в нормах безопасности МАГАТЭ до аварии

Нормы безопасности МАГАТЭ [68, 69], которые действовали до аварии, предусматривали следующее:

1) использование охватывающего все источники опасности подхода при разработке механизмов обеспечения готовности и реагирования⁶³; 2) создание системы классификации аварийных ситуаций на основе наблюдаемых условий и измеримых критериев (уровни противоаварийных мер) и принятие заранее спланированных экстренных мер по защите населения (в заранее определенных зонах) вскоре после классификации аварийной ситуации оператором; 3) определение аварийных зон для всего круга возможных аварийных ситуаций, включая маловероятные; 4) создание механизмов принятия защитных мер в аварийных зонах и за их пределами, по мере необходимости; 5) установление национальных критериев для принятия решений о мерах защиты населения (эвакуация, укрытие, йодное блокирование щитовидной железы, переселение, ограничение потребления и реализации пищевых продуктов и питьевой воды, дозиметрический контроль и дезактивация населения), выраженных в дозах и измеримых количествах (действующие уровни вмешательства), с учетом ряда факторов (таких как финансовые и социальные аспекты); 6) организацию мероприятий по радиационному мониторингу и отбору и оценке проб окружающей среды в целях оперативного выявления новых опасностей и уточнения стратегии реагирования; 7) определение, на этапе обеспечения готовности, особых групп населения в аварийных зонах (например, инвалидов, пациентов больницы), к которым требуется особый подход в целях безопасного принятия защитных мер; 8) принятие мер в отношении аварийных работников, включая установление критериев дозы при выполнении различных типов задач, назначение аварийных работников и обеспечение их защиты, подготовку инструкций по регулированию, контролю и регистрации получаемых ими доз и предоставление специального защитного снаряжения, инструктирование и обучение; 9) планирование перехода от аварийной фазы к операциям по долгосрочному восстановлению и возобновлению нормальной общественной и хозяйственной деятельности, включая четкое распределение обязанностей, обмен информацией и ее передачу, оценку последствий, установление формальных процедур принятия решений об отмене ограничений и других мер, введенных во время аварийной ситуации, установление соответствующих принципов и критериев и консультации с населением; 10) четкое распределение ролей, обязанностей и полномочий в сфере аварийной готовности и реагирования на всех уровнях в рамках планов противоаварийных мероприятий; 11) налаживание организационных связей и взаимодействия между эксплуатирующими организациями и организациями, осуществляющими реагирование, и подготовку рабочих протоколов для координации аварийного реагирования на всех уровнях; 12) разработку и согласование аварийных планов и процедур на всех уровнях на основе оцененных опасностей; 13) организацию логистического обеспечения путем предоставления технических средств, инструментов, расходных материалов, оборудования, коммуникационных систем, средств специального назначения и документации, включая планирование возможностей эксплуатации и использования этих предметов и средств в постулируемых радиологических, рабочих и экологических условиях аварийного реагирования; 14) планирование и проведение инструктажей, тренировок и учений; 15) создание программы обеспечения качества с целью гарантировать, что все расходные материалы, оборудование, коммуникационные системы, средства и документация и т.д. будут постоянно поддерживаться на современном уровне, иметься в наличии и находиться в рабочем состоянии для использования во время аварийной ситуации.

⁶³ "Механизмы" – это комплекс инфраструктурных компонентов, необходимых для обеспечения способности выполнять определенные функции или задачи, требующиеся при реагировании на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию. Эти компоненты могут включать полномочия и обязанности, организацию, координацию, персонал, планы, процедуры, помещения, оборудование и подготовку кадров.

Во вставке 3.2 вкратце описаны типы защитных мер в случае ядерной аварийной ситуации.

Вставка 3.2. Типы защитных мер в случае ядерной аварийной ситуации [48, 69]

"Меры по уменьшению последствий" – это меры, принимаемые сразу же после аварии с целью уменьшения потенциальной возможности развития условий, которые приведут к облучению или выбросу радиоактивного материала, требующему принятия аварийных мер на площадке или за ее пределами, либо с целью смягчения ситуации на станции, которая может привести к облучению или выбросу радиоактивного материала, требующему принятия аварийных мер на площадке или за ее пределами.

"Экстренные защитные меры" – это меры, которые для достижения желаемого эффекта должны быть приняты оперативно (обычно в течение первых нескольких часов). К числу самых распространенных экстренных защитных мер в ядерной аварийной ситуации относятся эвакуация, укрытие, иодное блокирование щитовидной железы, ограничение потребления потенциально загрязненных пищевых продуктов и дезактивация людей.

"Ранние защитные меры" – это меры, которые для достижения желаемого эффекта должны быть приняты в течение первых нескольких дней или недель. Они могут быть долговременными, продолжаясь даже после прекращения аварийной ситуации. В отличие от экстренных защитных мер, данные меры обычно могут приниматься на основе результатов мониторинга, при котором учитываются конкретные параметры выброса радиоактивного материала и его рассеяния в окружающей среде. К примерам ранних защитных мер относятся переселение, ограничения на потребление пищевых продуктов и питьевой воды и установление контроля за работой сельхозпредприятий.

3.1. ПЕРВОНАЧАЛЬНОЕ РЕАГИРОВАНИЕ НА АВАРИЮ В ЯПОНИИ

На момент аварии на национальном и местном уровнях существовали отдельные механизмы реагирования на ядерные аварийные ситуации и стихийные бедствия. Скоординированных механизмов реагирования на одновременно возникающие ядерную аварийную ситуацию и стихийное бедствие предусмотрено не было.

В рамках механизмов реагирования на ядерные аварийные ситуации предусматривалось, что после обнаружения на АЭС соответствующих неблагоприятных условий (например, потери всех источников питания переменного тока более чем на пять минут или утраты всех функций охлаждения реактора) станция должна оповестить об этом местные и национальные органы власти. После этого национальное правительство оценивает ситуацию и определяет, следует ли отнести ее к категории "ядерной аварийной ситуации"⁶⁴. Если ситуация классифицируется как ядерная аварийная ситуация, об этом объявляется на национальном уровне, и решения о необходимых защитных мерах принимаются исходя из прогнозов доз.

⁶⁴ Закон о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям, Закон №156 1999 года с последними изменениями, внесенными Законом №118 2006 года, далее именуемый Законом о ядерных аварийных ситуациях.

На основе доклада, полученного от АЭС "Фукусима-дайити", вечером 11 марта премьер-министр объявил ядерную аварийную ситуацию и издал распоряжения о мерах по защите населения. Руководство реагированием на национальном уровне осуществляли премьер-министр и старшие должностные лица канцелярии премьер-министра в Токио.

Последствия землетрясения и цунами и повышенные уровни радиации чрезвычайно осложнили реагирование на площадке. Выход из строя источников питания переменного и постоянного тока, наличие большого количества мусора, затрудняющего осуществление мер реагирования на площадке, афтершоки, предупреждения об опасности новых цунами и повышенные уровни радиации обусловили невозможность оперативного принятия многих мер по смягчению последствий. Решения, касающиеся мер по смягчению последствий на площадке, принимались при непосредственном участии национального правительства.

Использование кризисного центра, расположенного в 5 км от АЭС "Фукусима-дайити", было затруднено из-за серьезного повреждения его инфраструктуры в результате землетрясения и цунами. Через несколько дней потребовалась эвакуация кризисного центра ввиду неблагоприятной радиологической обстановки.

Юридические основы национальной системы аварийной готовности и реагирования в Японии были заложены в Основном законе о мерах по противодействию бедствиям [70] и Законе о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям [19] (вставка 3.3).

Вставка 3.3. Основные документы, составлявшие основу национальной системы готовности и реагирования в случае ядерной аварийной ситуации в Японии на момент аварии

Национальная юридическая база			
Основной закон о мерах по противодействию бедствиям*		Закон о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	
База национального планирования			
Основной план ликвидации последствий бедствий*	Приказ об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	Постановление об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям	Руководство для регулирующих органов по аварийной готовности ядерных установок
Рабочие планы и руководства			
Национальные	План операций по ликвидации последствий бедствий*	Руководство по реагированию на ядерные аварийные ситуации	
На уровне префектуры/города/поселка/деревни	Планы ликвидации последствий бедствий на уровне префектуры/города/поселка/деревни*	Руководства по ядерным вопросам на уровне префектуры/города/поселка/деревни	
Операторы	Планы аварийных мероприятий организаций, эксплуатирующих АЭС	Руководства по аварийным мероприятиям в организациях, эксплуатирующих АЭС	

* Эти документы охватывают различные виды бедствий, включая ядерные аварийные ситуации.

3.1.1. Оповещение

Оповещение, направляемое с АЭС местным и национальным органам власти, предусмотрено статьей 10 Закона о ядерных аварийных ситуациях [19] для тех случаев, когда происходят некоторые заранее оговоренные "конкретные события", такие как выход из строя всех источников питания переменного тока более чем на пять минут [55]. Согласно статье 15 Закона о ядерных аварийных ситуациях, отчет о "ядерной аварийной ситуации" направляется в тех случаях, когда некоторые заранее оговоренные критерии, такие как потеря всех возможностей для охлаждения реактора, удовлетворяются или превышаются [21, 71].

Подразумевалось, что отчет о событии согласно статье 15 будет направляться вслед за оповещением о событии согласно статье 10 [72]. Получив оповещение, национальное правительство оценивает данное событие и делает заключение о том, является ли оно "ядерной аварийной ситуацией". При утвердительном ответе на этот вопрос об этом ставится в известность премьер-министр, которому представляется проект заявления о "ядерной аварийной ситуации". На премьер-министре лежит ответственность за решение об объявлении "ядерной аварийной ситуации" и издание приказов⁶⁵ и/или рекомендаций о мерах по защите населения [73].

На рис. 3.1 показаны основные меры, которые должны быть приняты, если событие удовлетворяет критериям статьи 10 и/или статьи 15 Закона о ядерных аварийных ситуациях [19, 70, 73–75].

Цунами, затопившее АЭС "Фукусима-дайити", обрушилось на побережье 11 марта 2011 года в 15:36 [10]. Оповещение о "конкретном событии" для энергоблоков 1-5 в соответствии со статьей 10 Закона о ядерных аварийных ситуациях [19] было направлено станцией национальным и местным органам власти 11 марта в 15:42, после чего в 16:45 был направлен отчет о событии на блоках 1 и 2, классифицированном как "ядерная аварийная ситуация" в соответствии со статьей 15 Закона [3, 8, 76, 77].

Типом "конкретного события", о котором было сообщено согласно статье 10, было "обесточивание станции" для блоков 1-5 [76]. Типом события, о котором было сообщено как о "ядерной аварийной ситуации" согласно статье 15, вначале была "неспособность системы аварийного охлаждения активной зоны осуществлять впрыск воды" для блоков 1 и 2 [77]. Получив оповещение, национальное правительство оценило ситуацию и заключило, что она представляет собой "ядерную аварийную ситуацию" [6].

Премьер-министр объявил ядерную аварийную ситуацию в 19:03. Это произошло спустя более двух часов после того, как АЭС "Фукусима-дайити" направила оповещение о событии на энергоблоках 1 и 2, классифицированном как "ядерная аварийная ситуация" согласно статье 15 Закона после длительного обсуждения этого вопроса должностными лицами за пределами площадки [3].

3.1.2. Меры по смягчению последствий

Спустя примерно 15 минут после землетрясения на АЭС "Фукусима-дайити" в соответствии с руководством компании ТЕРПКО по антикризисному реагированию был создан центр аварийного реагирования во главе с директором станции [6, 8]. Он был размещен в сейсмостойком здании, оснащенном специальным оборудованием, включая автономные системы электропитания и вентиляции с фильтрующими устройствами. Это здание было сооружено⁶⁶ с учетом опыта, полученного на АЭС "Касивадзаки-Карива" после землетрясения в прибрежной зоне района Тьюэцу в

⁶⁵ В Законе о ядерных аварийных ситуациях [19] и Основном законе о мерах по противодействию бедствиям [70] применительно к информированию о защитных мерах употребляются термины "инструкции" и "рекомендации". "Инструкция" носит обязательный характер, и поэтому население должно ее выполнять. "Рекомендация" представляет собой лишь предложение и поэтому не является обязательной. Однако для ясности в настоящем докладе в качестве эквивалента термину "инструкции" употребляется "приказы".

⁶⁶ Здание начало строиться в марте 2009 года и было сдано в эксплуатацию в июле 2010 года.

префектуре Ниигата в 2007 году, и его использование дало возможность продолжать меры по смягчению последствий на площадке во время реагирования на аварию [8].

Процедура, действовавшая до аварии, предусматривала, что при необходимости центр аварийного реагирования на площадке может направить запрос о помощи в штаб-квартиру ТЕРКО, используя возможности ТЕРКО или ресурсы, мобилизованные в других эксплуатирующих организациях, на основании Соглашения о сотрудничестве между японскими организациями, эксплуатирующими АЭС [8, 75].

После того как АЭС "Фукусима-дайти" направила такой запрос, на поддержку мероприятий по аварийному реагированию на площадке были мобилизованы дополнительный персонал и оборудование с других японских АЭС (оператором которых не является ТЕРКО). Однако серьезный ущерб, причиненный транспортной инфраструктуре в результате землетрясения и цунами, равно как и недостаточное предварительное планирование снизил эффективность этой помощи. Например, в тех случаях, когда в запросе на оборудование не содержалось достаточно конкретных данных о том, что именно требуется, это привело к закупке оборудования, которое оказалось несовместимым с оборудованием, уже имеющимся на станции (из-за неподходящего крепежа, разъемов и т.д.) [8].

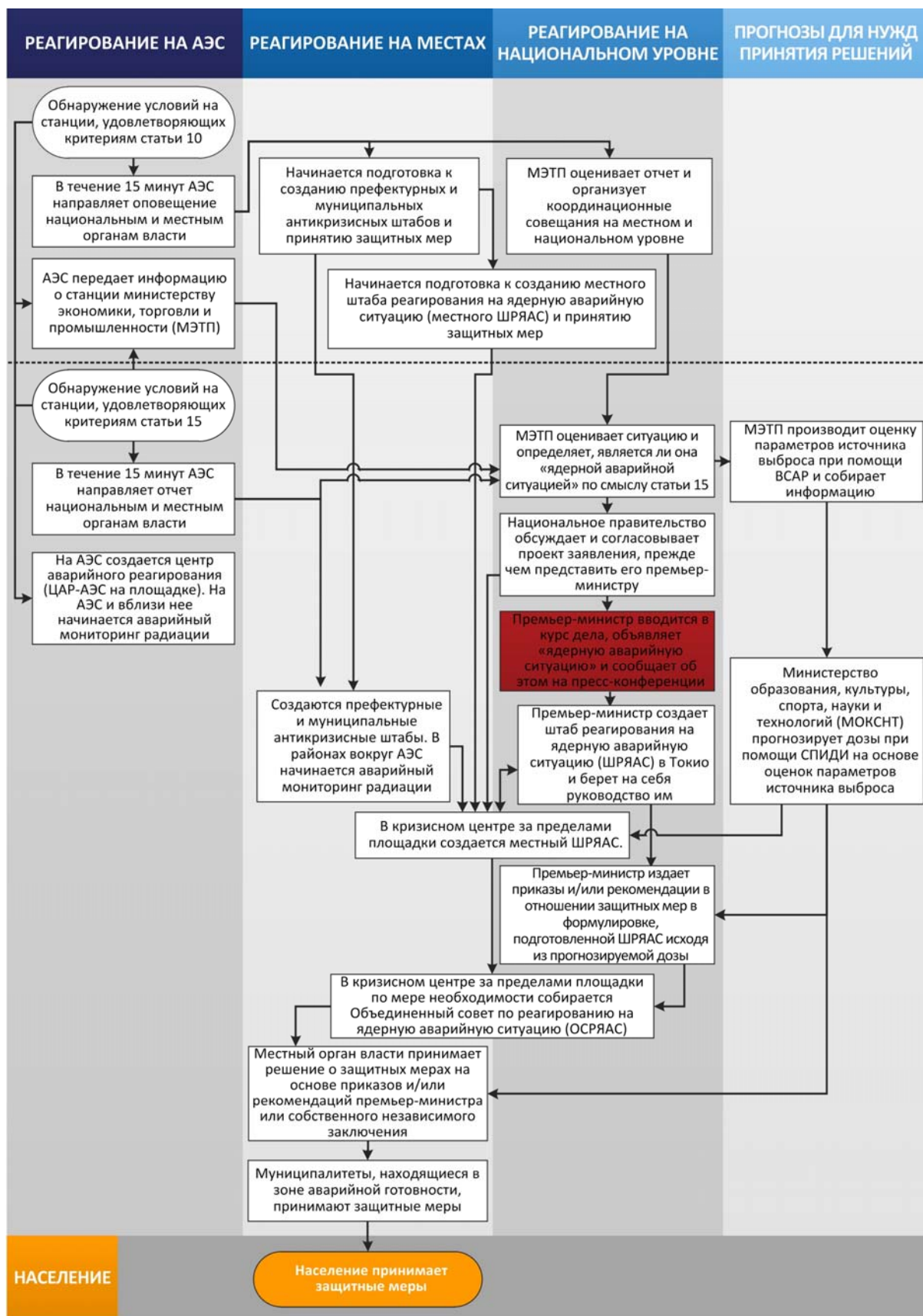


РИС. 3.1. Основные меры, запланированные до аварии на случай, если событие удовлетворяет критериям статьи 10 и/или статьи 15 Закона о ядерных аварийных ситуациях ([19, 70, 73–75]).

В связи с аварийной ситуацией персонал ТЕРМО, подрядных организаций и других японских АЭС (оператором которых не является ТЕРМО) был направлен на площадку для оказания помощи в выполнении различных задач, включая восстановление электроснабжения и приборов мониторинга, впрыск охлаждающей воды в реакторы, удаление мусора и мониторинг уровней радиации [8]. На площадку был также направлен персонал из национальных государственных учреждений и организаций – таких как японские силы самообороны, полиция и пожарная служба. Он оказал помощь в таких работах, как эксплуатация тяжелого оборудования, необходимого для залива или впрыска воды в бассейны выдержки отработавшего топлива на блоках 1, 3 и 4, и наблюдение с вертолетов за состоянием бассейнов выдержки отработавшего топлива [3, 6, 8].

Землетрясение и цунами привели к выходу из строя источников питания переменного и постоянного тока и образованию большого количества мусора. Кроме того, имели место афтершоки и давались предупреждения о возможном приходе новых цунами. В силу этих факторов, а также повышенных уровней радиации, взрывов водорода и из-за отсутствия детально проработанных процедур реагирование было крайне затруднено и многие меры по смягчению последствий оперативно принять не удалось [8]. Работники на площадке принимали меры по смягчению последствий в крайне тяжелых условиях; они работали дольше обычного и в более напряженной обстановке по сравнению с нормальными условиями труда [8].

Национальное правительство занялось подготовкой решений, касающихся мер по смягчению последствий, таких как закачка морской воды для охлаждения топлива [6, 7]. На этапе обеспечения готовности четкого распределения ролей, обязанностей и полномочий не существовало.

3.1.3. Управление аварийной ситуацией

Национальная система аварийной готовности и реагирования, действовавшая на момент аварии, предусматривала, что основными структурами, ответственными за ликвидацию последствий ядерной аварийной ситуации, должны быть штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию (ШРЯС)⁶⁷ и его секретариат⁶⁸, а также местный штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию (местный ШРЯС)⁶⁹. ШРЯС должен был обеспечивать руководство и координацию национального реагирования, что предполагало подготовку и издание для местных органов власти приказов и/или рекомендаций по эвакуации [19].

⁶⁷ ШРЯС должен был состоять из лиц, назначаемых премьер-министром из числа сотрудников секретариата кабинета министров и определенных для этой цели административных органов [19]. Премьер-министр должен был выполнять функции генерального директора ШРЯС, который планировалось разместить в канцелярии премьер-министра (см. рис. 3.2).

⁶⁸ Секретариат должен был иметь в своем составе представителей ключевых организаций и возглавляться генеральным директором Агентства по ядерной и промышленной безопасности (АЯПБ) при министерстве экономики, торговли и промышленности (МЭТП). Его планировалось разместить в центре аварийного реагирования АЯПБ/МЭТП в здании МЭТП (см. рис. 3.2).

⁶⁹ В местный ШРЯС должны были войти представители всех соответствующих организаций, а его генеральным директором должен был стать первый заместитель министра экономики, торговли и промышленности. Его планировалось разместить в кризисном центре за пределами площадки (см. рис. 3.2).

Что касается национального реагирования на местном уровне, то координацию всей работы по реагированию на ядерную аварийную ситуацию должен был как можно скорее взять на себя местный ШРЯАС в кризисном центре, расположенном в 5 км от АЭС "Фукусима-дайити". В кризисном центре также планировалось разместить местный префектурный ШРЯАС и Объединенный совет по реагированию на ядерную аварийную ситуацию (ОСРЯАС) [73, 74, 78].

Что касается реагирования на ядерную аварийную ситуацию на уровне префектуры, то предполагалось, что координацию деятельности на этом уровне возьмут на себя местный префектурный штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию и антикризисный штаб префектуры Фукусима. ОСРЯАС будет обеспечивать координацию национального реагирования на местном уровне с реагированием на уровне префектуры [19, 73, 74].

На национальном и местном уровнях существовали отдельные механизмы реагирования на ядерные аварийные ситуации и на стихийные бедствия. Они не предполагали необходимости реагирования на одновременно происходящие ядерную аварийную ситуацию и стихийное бедствие [74, 78].

На рис. 3.2 показано местонахождение основных структур, отвечающих за организацию реагирования на ядерную аварийную ситуацию, как это планировалось до аварии.



РИС. 3.2. Местонахождение основных структур, отвечающих за организацию реагирования на ядерную аварийную ситуацию⁷⁰.

11 марта 2011 года в 14:50 в канцелярии премьер-министра заместителем генерального секретаря кабинета министров по вопросам управления кризисными ситуациями была образована группа аварийного реагирования в связи с землетрясением. В 15:14 национальное правительство создало при канцелярии премьер-министра в Токио штаб аварийного реагирования, генеральным директором которого был назначен премьер-министр. В 16:36 заместитель генерального секретаря кабинета министров по вопросам управления кризисными ситуациями сформировал в канцелярии премьер-министра группу аварийного реагирования на ядерную аварию [6].

⁷⁰ Согласно [7, 8, 73, 74, 79–91].

11 марта 2011 года в 19:03 национальное правительство одновременно с объявлением ядерной аварийной ситуации образовало штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию [3].

Аварийная ситуация развивалась столь быстро, что времени на ее детальное обсуждение на заседаниях ШРЯАС не оставалось. Костяк группы по аварийному реагированию составили премьер-министр и старшие должностные лица, работающие в канцелярии премьер-министра. Премьер-министр отдал местным органам власти приказы об эвакуации без вмешательства секретариата ШРЯАС [7].

15 марта 2011 года в штаб-квартире ТЕПКО в Токио [6] было образовано Бюро правительства и ТЕПКО по комплексному реагированию – объединенный штаб эксплуатирующей организации и государственной организации, осуществляющей реагирование, – с целью обеспечить оперативный обмен информацией на национальном уровне.

На местном уровне серьезный ущерб, причиненный землетрясением и цунами, затруднил развертывание операций кризисного центра за пределами площадки [92]. В итоге местный ШРЯАС и другие структуры, которые должны были работать на базе кризисного центра (ОСРЯАС и местный префектурный штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию), не смогли сыграть отведенную им роль. 15 марта 2011 года ввиду ухудшения радиологической обстановки⁷¹ кризисный центр потребовалось эвакуировать и перевести в здание префектуры Фукусима, находящееся примерно в 60 км от АЭС "Фукусима-дайити" [6, 92]. Оно не располагало такими же возможностями, как и кризисный центр, что затруднило, к примеру, обмен информацией в реальном времени между соответствующими ведомствами.

Что касается реагирования на уровне префектуры, то в антикризисном штабе префектуры Фукусима в рамках структуры, созданной для реагирования на землетрясение и цунами, была образована новая оперативная бригада по ядерной аварии⁷² для координации деятельности на префектурном уровне [7].

⁷¹ Кризисный центр не был рассчитан на работу в условиях повышения уровня радиации.

⁷² Эта новая бригада была образована потому, что девять существующих оперативных бригад, указанных в Плане ликвидации последствий бедствий префектуры Фукусима [74], были заняты реагированием на землетрясение и цунами [7].

3.2. ЗАЩИТА АВАРИЙНЫХ РАБОТНИКОВ

На момент аварии в национальном законодательстве и руководящих документах в Японии меры по защите аварийных работников⁷³ были предусмотрены, но их описание было общим и недостаточно детальным.

Для осуществления аварийного реагирования потребовалось большое число аварийных работников разных специальностей. Аварийные работники представляли целый ряд организаций и государственных учреждений. Однако механизмов привлечения к деятельности по реагированию аварийных работников, не назначенных для этой работы до аварии, предусмотрено не было.

Применение механизмов, обеспечивающих защиту работников от радиационного облучения, было серьезно затруднено из-за возникновения экстремальных условий на площадке. Для поддержания приемлемого уровня защиты аварийных работников на площадке был предпринят ряд незапланированных мер. Предел дозы для аварийных работников, выполняющих определенные задачи, был временно повышен в целях продолжения осуществления необходимых мер по смягчению последствий. Медицинское обслуживание аварийных работников при этом было серьезно дезорганизовано, и для оказания аварийным работникам необходимых услуг на площадке потребовались большие дополнительные усилия.

Лица из населения, называемые "помощниками", добровольно предложили свою помощь в осуществлении аварийного реагирования за пределами площадки. Национальные органы власти издали инструкцию, указывающую виды работ, которые могли выполнять помощники, и меры, которые следовало принимать для их защиты.

3.2.1. Защита персонала станции после землетрясения и цунами

После предупреждения об опасности цунами были предприняты усилия по защите персонала станции (примерно 6000 человек) от ожидаемого удара цунами. Предупреждения об опасности цунами были переданы по системе оповещения на площадке; персоналу было предписано эвакуироваться и проследовать в специальные места на возвышенностях. Хотя в большинстве случаев эти усилия были эффективными, предупреждения об опасности цунами и приказы об эвакуации дошли не до всех работников [7, 8]. Два работника, которые после землетрясения проверяли оборудование на подземном этаже машинного зала энергоблока 4, утонули во время вызванного цунами наводнения [8].

⁷³ В МАГАТЭ термин "аварийные работники" употребляется по отношению к тем, кто имеет конкретно оговоренные обязанности как работник (любое лицо, которое работает – полный или неполный рабочий день либо временно – на нанимателя и которое имеет официально признанные права и обязанности в области радиационной защиты при профессиональном облучении) при реагировании на аварийную ситуацию, включая работников, нанятых – напрямую или опосредованно – зарегистрированными лицами и лицензиатами, а также персонал организаций, осуществляющих реагирование, такой как полицейские, пожарные, медработники и водители и бригады эвакуационных транспортных средств. В Японии термин "персонал по вопросам аварийной готовности" употребляется по отношению ко всем тем, кто проводит мероприятия по аварийному реагированию в случае ядерной аварийной ситуации, такие как "...информирование населения и передача инструкций местным жителям, инструктирование местных жителей по поводу эвакуации, регулирование дорожного движения, радиационный мониторинг, предоставление медицинских услуг и меры по недопущению того, чтобы та или иная ситуация привела к катастрофе на ядерной установке, а также к тем, кто проводит мероприятия по аварийному восстановлению, такие как удаление радиоактивных загрязнителей" [93].

Защита персонала станции от воздействия цунами была эффективной во многом благодаря опыту, полученному на АЭС "Касивадзаки-Карива" после землетрясения в прибрежной зоне района Тюэцу в префектуре Ниигата в 2007 году, и предпринятым впоследствии усилиям по разработке инструкций по аварийному покиданию станции [8].

С 11 по 14 марта 2011 года персонал станции, не считавшийся ключевым, – включая женщин и большинство работников субподрядных организаций – был эвакуирован с площадки. Утром 15 марта ввиду ухудшения обстановки на площадке со станции были эвакуированы дополнительные работники. На площадке осталось, по оценке, 50-70 работников, а примерно 650 человек были временно эвакуированы на АЭС "Фукусима-дайни" на автобусах и частных автомобилях. Они начали возвращаться на АЭС "Фукусима-дайни" в тот же день начиная с полудня [8].

3.2.2. Меры по защите аварийных работников

На момент аварии в национальном законодательстве и методических рекомендациях в Японии были предусмотрены меры по защите аварийных работников. Однако в действовавших механизмах, таких как план мероприятий на площадке, эти требования были описаны лишь в общих чертах и недостаточно детально. Например, план мероприятий на площадке охватывал следующие области: установление ответственности, распределение общих обязанностей в области аварийной готовности и реагирования и составление инвентарного перечня имеющихся приборов (например, приборов радиационного контроля и электронных дозиметров) [75].

Пределы дозы для аварийных работников устанавливались исходя из выполняемых ими задач, причем верхний предел дозы для спасательных операций и мер по недопущению возникновения катастрофических условий составлял 100 мЗв, но при этом требовались усилия по минимизации облучения [93, 94].

Во время аварии для поддержания приемлемого уровня защиты аварийных работников на площадке в экстремальных условиях был принят ряд незапланированных мер. Ощущалась нехватка индивидуальных дозиметров, вызванная тем, что большинство имевшихся на площадке дозиметров вышли из строя после цунами. Это обусловило необходимость принятия чрезвычайных мер для контроля индивидуальных доз, получаемых аварийными работниками на площадке [8]. Например, была дана инструкция использовать один индивидуальный электронный дозиметр на группу аварийных работников, которые должны были работать в схожих условиях. В отношении аварийных работников в сейсмостойком здании дозы измерялись и контролировались посредством зонного мониторинга мощности дозы и по количеству времени, проведенного работниками в конкретных местах. Эта ситуация продолжалась до конца марта 2011 года, когда было получено достаточное количество дозиметров с других АЭС [6, 8].

14 марта 2011 года предел дозы для аварийных работников, выполняющих конкретные задачи по аварийному реагированию, был временно увеличен до 250 мЗв, чтобы продолжить необходимые работы на площадке и в радиусе 30 км от АЭС "Фукусима-дайни" [95]. Доза в 100 мЗв оставалась предельной для аварийных работников пожарной службы, участвующих в спасательных операциях [6]. Это временное увеличение предела дозы до 250 мЗв было отменено 1 ноября 2011 года для аварийных

работников на площадке, начинавших работу с этой даты; 16 декабря 2011 года оно было отменено для большинства оставшихся аварийных работников; 30 апреля 2012 года оно было отменено для небольшой группы аварийных работников, обладающих специальными знаниями и опытом [96, 97].

Большинство аварийных работников на площадке получили дозы менее 250 мЗв [8]. Имело место шесть случаев, когда аварийные работники получили дозы, превышающие критерий дозы в 250 мЗв, причем максимальной дозой было 678 мЗв (из которых 590 мЗв были обусловлены внутренним загрязнением).

Внутреннее загрязнение было вызвано тяжелыми условиями труда и недостаточным применением защитных мер (например, неправильным использованием средств защиты органов дыхания, мер по иодному блокированию щитовидной железы, действиями, приведшими к случайному попаданию в организм радионуклидов), главным образом вследствие недостаточного или неэффективного обучения [5].

ТЕПКО также столкнулась с трудностями в обеспечении быта аварийных работников на площадке, например в предоставлении адекватных средств и условий (для отдыха, сна, питания, гигиены и т.д.) [98–101].

Во время реагирования на аварию жители пострадавших районов и люди со всей Японии, в том числе из ряда неправительственных организаций, называемые "помощниками", добровольно предложили свою помощь в такой работе, как доставка продуктов питания, воды и предметов первой необходимости, а позднее – дезактивация и дозиметрический контроль. Национальные власти издали инструкцию о том, какие виды работ могут выполняться помощниками и какие меры следует принимать для их защиты [102–104].

3.2.3. Назначение аварийных работников

Для нужд аварийного реагирования на площадке и за ее пределами потребовалось большое число аварийных работников разных специальностей. В число аварийных работников на площадке входили работники АЭС – нанятые непосредственно ТЕПКО или субподрядными организациями, – а также военнослужащие японских сил самообороны, работники пожарных служб и полиции, занятые противоаварийными работами на площадке [8]. К числу аварийных работников за пределами площадки относились сотрудники различных организаций и служб (государственных и негосударственных). В круг их задач входила эвакуация населения и специальных объектов, оказание помощи эвакуированным, медицинское обслуживание и организация мониторинга и отбора проб [6, 97, 105, 106].

Не все аварийные работники были назначены в качестве таковых до аварийной ситуации (например, некоторые сотрудники ТЕПКО и персонал субподрядных организаций), а механизмов подключения их к аварийному реагированию после назначения в качестве аварийных работников предусмотрено не было. Кроме того, многие из тех, кто не был назначен до аварийной ситуации, не были обучены работе в условиях ядерной аварийной ситуации. К примеру, они не были ознакомлены с вопросами радиационной защиты, проинформированы о потенциальных рисках радиационного облучения для здоровья и обучены использованию средств защиты органов дыхания и уходу за больными, которые могли иметь контакт с радиоактивным материалом [107]. Это привело к некоторым задержкам с осуществлением мер по смягчению последствий на ранних этапах реагирования [6].

3.2.4. Медицинское обслуживание аварийных работников

Получение необходимой медицинской помощи аварийными работниками с обычными травмами было затруднено по той причине, что ряд больниц были закрыты в результате эвакуации или укрытия, а некоторые не были готовы к приему пациентов, потенциально имевших контакт с радиоактивным материалом [107, 108]. До тех пор пока первичная медико-санитарная помощь не начала оказываться на площадке, аварийные работники с обычными травмами транспортировались на лечение в одну из двух местных больниц [108].

Спустя примерно 17 часов после землетрясения НИРН направил в местный ШРЯАС (в кризисном центре за пределами площадки) группу по оказанию медицинской помощи при радиационной аварийной ситуации (РЕМАТ), первоначально состоявшую из врача, медсестры и дозиметриста, с тем чтобы она оценила ситуацию с загрязнением и дезактивацией аварийных работников [107].

Спустя восемь дней после начала аварии специалисты по гигиене труда начали оказание первичной медико-санитарной помощи аварийным работникам на площадке в центре аварийного реагирования, расположенном в сейсмостойком здании. Позднее были созданы два центра первой помощи пострадавшим – один на площадке, а другой в "Джей-вилледж"⁷⁴ [3, 8, 108].

С 1 июля 2011 года на АЭС "Фукусима-дайити" был открыт пункт неотложной медицинской помощи. Он был укомплектован медицинским персоналом со всей Японии, обученным работе в радиационных аварийных ситуациях [8, 108].

3.3. ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ

В соответствии с национальной системой мер, принимаемых в чрезвычайных ситуациях, решения по защитным мерам основывались на оценках прогнозируемой дозы для населения, рассчитываемой на момент принятия решения с помощью модели для прогноза доз – Системы прогнозирования информации о средней аварийной дозе (СПИДИ). Эти меры не предусматривали, что решения по неотложным защитным мерам для населения будут приниматься на основе заранее определенных конкретных условий на станции. Однако при реагировании на данную аварию первоначальные решения по защитным мерам принимались на основе условий на станции. Оценки параметров источника выброса невозможно было использовать в качестве данных, вводимых в СПИДИ, вследствие потери электроснабжения на площадке.

Процедуры, применявшиеся до аварии, включали критерии для укрытия, эвакуации и иодного блокирования щитовидной железы, основанные на прогнозируемой дозе, а не на измеряемых величинах. Критерии для переселения отсутствовали.

Защитные меры для населения во время аварии включали: эвакуацию, укрытие, иодное блокирование щитовидной железы (путем введения стабильного иода), ограничения в отношении потребления пищевых продуктов и питьевой воды, переселение и распространение информации.

⁷⁴ "Джей-вилледж" находится примерно в 20 км к югу от АЭС "Фукусима-дайити". До аварии он представлял собой центр подготовки футболистов. После аварии он использовался как база общего логистического обеспечения, например для подготовки работников к выполнению поставленных задач, их дозиметрического контроля и, при необходимости, дезактивации после выполнения поставленных задач, для оказания первой помощи и т.д. [3].

Эвакуация людей из района АЭС "Фукусима-дайити" началась вечером 11 мая 2011 года, и зона эвакуации постепенно расширялась в радиусе от 2 км до 3 км и затем 10 км от станции. К вечеру 12 марта 2011 года она была увеличена до 20 км. Таким же образом расширялась и зона, в которой население было проинструктировано использовать укрытие, – от 3-10 км от станции вскоре после аварии до 20-30 км к 15 марта. В радиусе 20-30 км от АЭС населению было указано находиться в укрытии вплоть до 25 марта, когда правительство страны рекомендовало добровольную эвакуацию. Введение стабильного иода (иодная профилактика) с целью иодного блокирования щитовидной железы не осуществлялось единообразно, главным образом из-за отсутствия детальной регламентации.

Имели место трудности с эвакуацией вследствие разрушения инфраструктуры в результате землетрясения и цунами и связанных с этим проблем коммуникационно-транспортного характера. Значительные трудности возникли также с эвакуацией больных из больниц и домов престарелых в зоне радиусом 20 км.

22 апреля зона эвакуации радиусом 20 км была объявлена "районом ограниченного доступа", возвращение в который было взято под контроль. Помимо "района ограниченного доступа" были определены "районы плановой эвакуации" в тех местах, где могли быть превышены конкретные дозовые критерии.

При обнаружении радионуклидов в окружающей среде принимались решения в отношении принятия защитных мер в сельскохозяйственных районах и введения ограничений на потребление и распределение пищевых продуктов и потребление питьевой воды. Кроме того, была введена система сертификации для пищевых и других продуктов, предназначенных для экспорта.

В ходе аварийной ситуации для информирования общественности и реагирования на вопросы, вызывающие беспокойство у населения, использовались различные средства, включая телевидение, радио, интернет и "горячие" телефонные линии. Информация, получаемая от населения в порядке обратной связи через "горячие" линии и консультационные службы, позволяла выявлять потребности в легко воспринимаемой информации и вспомогательных материалах.

3.3.1. Неотложные защитные меры и переселение

До данной аварии вокруг АЭС "Фукусима-дайити" и "Фукусима-дайни" были предусмотрены 10-километровые зоны аварийного планирования, где уровень аварийной готовности должен был быть значительно выше (рис. 3.3). Существовали планы по осуществлению в этих зонах защитных мер [74].

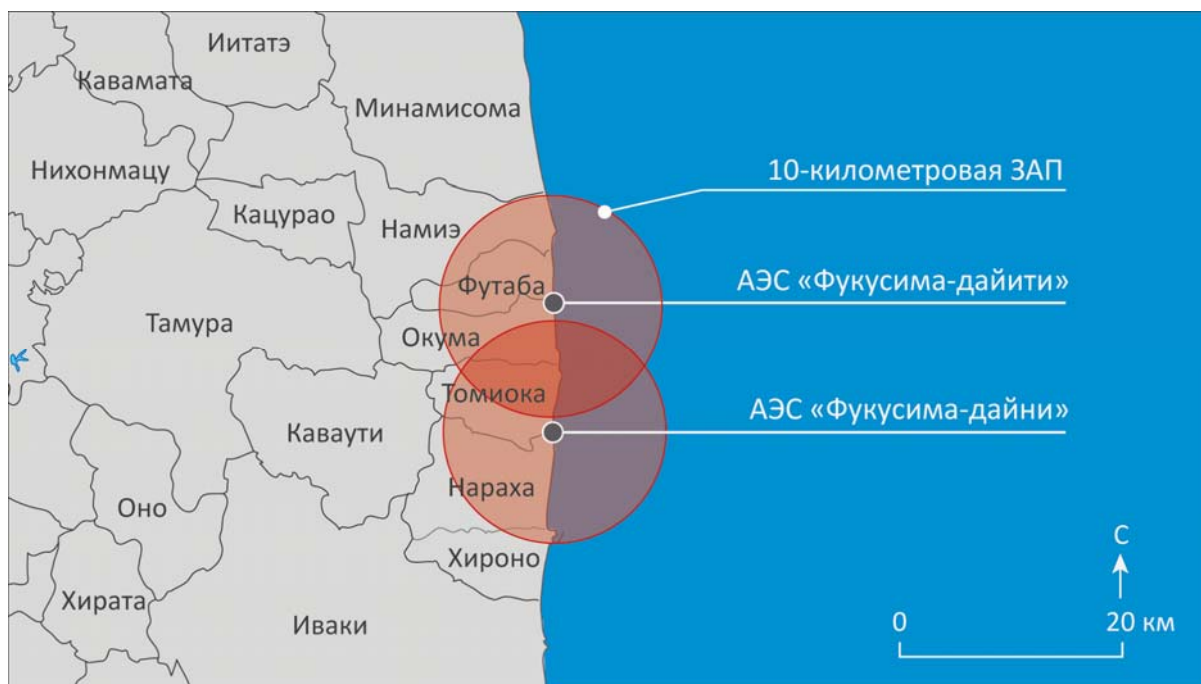


РИС. 3.3. Зоны аварийного планирования для АЭС "Фукусима-дайити" и "Фукусима-дайни", предусмотренные до данной аварии (согласно [74]).

В планах аварийного реагирования предполагалось, что решения по защитным мерам будут основаны на дозовых прогнозах, составленных на тот момент, когда необходимо будет принять решение. Дозы должны были прогнозироваться системой СПИДИ уже после наступления аварии и сравниваться с установленными дозовыми критериями для определения того, какие защитные меры необходимы и в каких местах [73, 93]. Такой подход не соответствовал нормам безопасности МАГАТЭ, согласно которым первоначальные решения по неотложным защитным мерам для населения должны приниматься в зависимости от состояния станции [68, 69].

Имелись установленные дозовые критерии для укрытия⁷⁵, эвакуации⁷⁶ и иодного блокирования щитовидной железы⁷⁷ на основе прогнозируемой дозы, а не измеряемых величин. Установленных критериев (т.е. общих в зависимости от дозы или оперативных в зависимости от измеряемых величин) для переселения не было⁷⁸ [93].

В ходе реагирования на аварию оценка параметров источника выброса из вспомогательной системы аварийного реагирования (ВСАР) не могла попасть в

⁷⁵ "Укрытие" – краткосрочное использование некой конструкции для защиты от аэрозольного шлейфа и/или выпавшего в виде осадков радиоактивного материала [48].

⁷⁶ "Эвакуация" – оперативный, временный вывод людей из района с целью предотвратить или уменьшить краткосрочное радиационное облучение в случае аварийной ситуации. Эвакуация может производиться в качестве упреждающей меры в зависимости от состояния станции [48].

⁷⁷ "Иодное блокирование щитовидной железы" – неотложная защитная мера, принимаемая в случае аварии, связанной с воздействием радиоактивного иода. Иодное блокирование щитовидной железы заключается во введении препарата стабильного иода (обычно иодистого калия) в целях предотвращения или уменьшения поглощения радиоактивных изотопов иода щитовидной железой [48].

⁷⁸ "Переселение" – несрочное перемещение людей во избежание долгосрочного облучения (например, в течение года) от выпавшего в виде осадков радиоактивного материала [48].

качестве вводимых данных в СПИДИ⁷⁹ ввиду того, что на месте отключилось электропитание. Решения об эвакуации и укрытии принимались на основе состояния станции (т.е. прекращения охлаждения активной зоны), а не на основе прогнозируемых доз, как это было запланировано [3, 7].

Решения правительства страны и местных органов по защитным мерам не всегда координировались, главным образом ввиду серьезных проблем со связью и отчасти сложностей с активизацией кризисного центра за пределами площадки [92]. В 20:50 11 марта 2011 года префектура Фукусимы распорядилась эвакуировать жителей в радиусе 2 км от АЭС "Фукусима-дайити" на основе информации, полученной непосредственно от ТЕРКО [3, 6, 7, 70].

В 21:23 правительство страны распорядилось эвакуировать людей из района в радиусе 3 км от станции и обеспечить укрытие в районе в радиусе 3-10 км. В 05:44 12 марта 2011 года правительство страны распорядилось эвакуировать людей из района в радиусе 3-10 км, а в 18:25 расширило этот район до 20 км от станции⁸⁰ [3, 7].

Доведение эвакуационных постановлений до сведения населения обеспечивалось с помощью местной радиосети аварийного вещания, громкоговорителей на автомобилях, полицейских машин и поквартирного обхода. Вследствие состояния станции, трудностей с координацией и недостаточного предварительного планирования постановления об эвакуации и укрытии изменялись несколько раз в течение суток, и в конечном итоге было решено эвакуировать людей из зоны в радиусе 20 км, что затронуло порядка 78 000 жителей [7].

Имели место трудности с эвакуацией ввиду разрушения инфраструктуры и проблем коммуникационно-транспортного характера, возникших в результате землетрясения и цунами. Значительные проблемы наблюдались при эвакуации больных из больниц и домов престарелых в зоне эвакуации в радиусе 20 км (например в плане обеспечения надлежащего транспорта и укрытий с медицинскими принадлежностями). Несмотря на разрушения и пробки на дорогах, большинство жителей, которым не требовалась медицинская помощь, начали покидать район эвакуации в течение нескольких часов после поступления соответствующих распоряжений [7].

Распоряжение об укрытии людей, живущих в радиусе 20-30 км от АЭС "Фукусима-дайити", поступило 15 марта и действовало до 25 марта [3, 7]. Столь продолжительное время нахождения в укрытии и разрушение местной инфраструктуры привели к нарушению нормальной жизни людей [7]. 25 марта 2011 года правительство страны рекомендовало жителям зоны в радиусе 20-30 км эвакуироваться добровольно [3, 7]. Между тем многие жители уже добровольно покинули этот район.

⁷⁹ Некоторые прогнозы по дозам были выполнены на основе других допущений; однако эти прогнозы не использовались в качестве основы для принятия решений по неотложным защитным мерам [4, 7].

⁸⁰ В отношении АЭС "Фукусима-дайити" распоряжение об эвакуации населения в радиусе 3 км и распоряжение об укрытии в радиусе 3-10 км от станции поступило в 07:45 12 марта 2011 года [6]. После взрыва водорода в блоке 1 АЭС "Фукусима-дайити" (в 15:36 12 марта) в 17:39 12 марта было принято решение эвакуировать население в радиусе 10 км от АЭС "Фукусима-дайити" в качестве предосторожности в случае аналогичного взрыва водорода на этой станции [6]. Поскольку эта 10-километровая зона эвакуации находилась в пределах 20-километровой зоны эвакуации АЭС "Фукусима-дайити", дополнительных защитных мер в связи с АЭС "Фукусима-дайити" не потребовалось.

Введение стабильного иода для иодного блокирования щитовидной железы производилось не единообразно, главным образом ввиду недостаточной предварительной регламентации. Одни местные органы распространяли таблетки стабильного иода, но не настаивали на их употреблении, в то время как другие распространяли таблетки и советовали их принимать, а третьи ждали указаний от правительства страны [6].

Некоторые жители возвращались в свои дома в эвакуированных районах за вещами до того, как к концу марта 2011 года доступ в них был полностью взят под контроль [6]. 22 апреля существующая зона эвакуации в радиусе 20 км от АЭС "Фукусима-дайити" была объявлена "районом ограниченного доступа", возвращение и условия временного доступа в который были взяты под контроль на основе консультаций с местными органами. В мае 2011 года был разрешен краткосрочный временный доступ при условии соблюдения определенных процедур, включая конкретные инструкции и мониторинг загрязнения [6, 104, 109].

12 марта 2011 года начался мониторинг эвакуированных на местном уровне. Решения относительно необходимости дезактивации принимались на основе оперативных критериев, установленных до аварии. Несколько дней спустя эти критерии были повышены с учетом существующих условий (например, низких температур, недостаточного водоснабжения) [5].

Экологический мониторинг после аварии осуществлялся в сложных и опасных условиях с использованием ограниченного оборудования и персонала. Например, землетрясение и цунами вывели из строя большую часть имеющегося на месте оборудования для мониторинга. Мониторинг в радиусе 20 км от АЭС "Фукусима-дайити" начался 12 марта и закончился 14 марта, когда была завершена эвакуация из этого района. В период начиная с 15 марта в некоторых местах за пределами 20-километровой зоны эвакуации путем замеров были обнаружены мощности дозы порядка нескольких сотен микрозиверт в час (мкЗв/ч) [3, 6].

11 апреля 2011 года правительство страны объявило, что для определения районов за пределами 20-километровой зоны эвакуации, из которых может потребоваться переселение людей, в виде критерия будет использоваться доза 20 мЗв, которую предположительно можно получить в течение года с даты аварии⁸¹ [3]. 22 апреля 2011 года за пределами 20-километровой зоны был установлен "район плановой эвакуации", включавший районы, в которых может быть превышен критерий прогнозируемой дозы 20 мЗв. Правительство страны издало постановление о том, что переселение людей из этого района должно быть произведено примерно через месяц [3].

22 апреля 2011 года в дополнение к "району плановой эвакуации" был установлен "район готовности к эвакуации в случае бедствий" (см. рис. 3.4). Жителям "района готовности к эвакуации в случае бедствий" было предложено укрываться или эвакуироваться собственными средствами в случае возможного появления новых тревожных вводных в отношении АЭС "Фукусима-дайити". Введение "района готовности к эвакуации в случае бедствий" было отменено 30 сентября 2011 года [6].

⁸¹ В большинстве официальных японских документов, где говорилось о реагировании на аварию на АЭС "Фукусима-дайити", не употреблялся термин "переселение", а перемещение людей называлось "эвакуацией".

В результате мониторинга, осуществлявшегося за пределами "района ограниченного доступа" (т.е. 20-километровой зоны эвакуации) и "района плановой эвакуации", были определены конкретные места, где прогнозируемые дозы для жителей могут быть выше 20 мЗв в течение года после аварии. 16 июня правительство страны издало руководящие указания, в которых было отмечено, что эти места должны быть обозначены как "конкретные участки, рекомендованные для эвакуации". Начиная с 30 июня правительство страны приступило к обозначению таких мест с целью переселения людей [6, 7].

На рис. 3.4 показаны районы и места, в отношении которых были изданы распоряжения или рекомендации о принятии защитных мер до 30 сентября 2011 года.

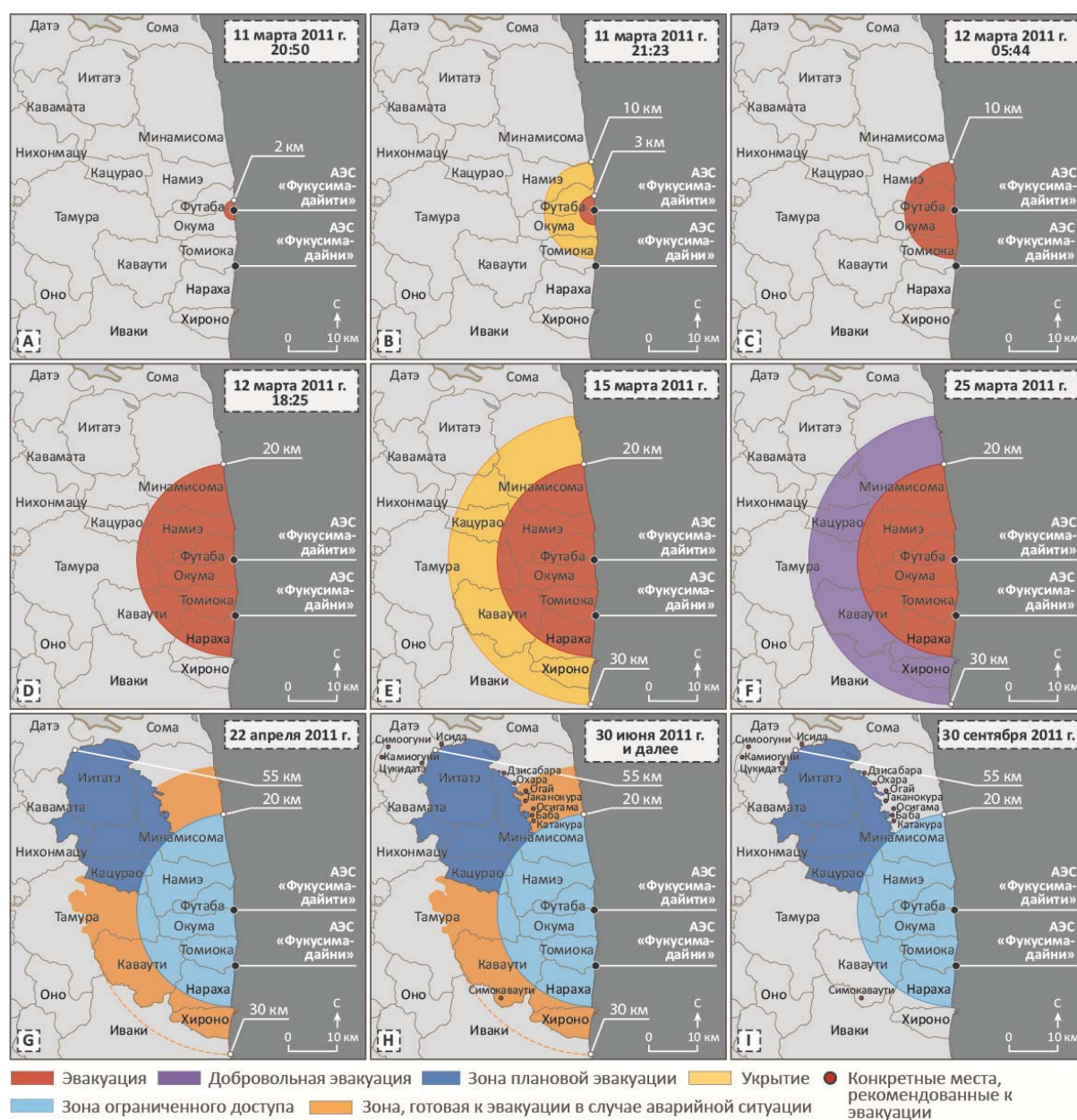


РИС. 3.4. Районы и места, по которым были изданы распоряжения или рекомендации о принятии защитных мер до 30 сентября 2011 года (согласно [3, 6, 7, 104]).

Руководители местного уровня также должны были на ранних этапах принимать решения о том, открывать ли школы и на каких условиях. Первоначально, 19 апреля 2011 года, для этой цели в качестве показателя критерия дозы было использовано 20 мЗв в год. 27 мая в ответ на обеспокоенность общественности было распространено уведомление правительства Японии относительно его намерения снизить в ближайшее время эту дозу до 1 мЗв в год [7].

3.3.2. Защитные мероприятия в отношении пищевых продуктов, питьевой воды и сельского хозяйства

До аварии были разработаны критерии концентраций активности конкретных радионуклидов в случае ядерной аварии для введения ограничений в отношении пищевых продуктов и питьевой воды, производимых в Японии [93]. Однако эти показатели не были приняты для использования в случае аварийной ситуации в качестве конкретных нормативных пределов ⁸² [6, 7]. 17 марта 2011 года в соответствии с Законом о безопасности пищевых продуктов эти критерии были приняты в качестве временных нормативных показателей для уровней радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде [110].

После обнаружения радиоактивного материала в окружающей среде были приняты меры для введения контроля за пищевыми продуктами и питьевой водой. Такие меры включали: (1) установление уровней концентрации радионуклидов радиоактивного цезия и радиоактивного йода в пищевых продуктах и питьевой воде в качестве временных нормативных показателей согласно Закону о безопасности пищевых продуктов, превышение которых вело к ограничению использования пищевых продуктов и питьевой воды; и (2) замеры концентраций радионуклидов в пробах пищевых продуктов и питьевой воды. В течение нескольких недель уровни радиоактивного йода (¹³¹I) значительно снизились ввиду его короткого периода полураспада (около 8 дней), и ограничения в отношении пищевых продуктов в среднесрочной и долгосрочной перспективе устанавливались только на основе концентраций радиоактивного цезия [110].

21 марта 2011 года правительство страны начало вводить ограничения на распространение конкретных пищевых продуктов [113], обусловленные изменившимся положением. Ограничения на пищевые продукты устанавливались на основе мониторинга проб пищевых продуктов, позволявшего определить, какие продукты выходили за пределы критериев, и установить затронутые географические местности [112, 113].

В отношении защитных мер применительно к пищевым продуктам и напиткам возник ряд проблем, а именно: (1) определение критериев (концентрации активности радионуклидов), которые могут быть использованы в качестве основы для контроля пищевых продуктов; (2) определение того, какие пищевые продукты в разных географических местностях были или могли быть затронуты на уровнях, превышающих эти критерии; (3) недостаточность инфраструктуры и ресурсов для проб и анализа; и (4) устранение обеспокоенности некоторых местных органов относительно отбора проб и проведения анализов.

⁸² Критерии в отношении пищевых продуктов, импортируемых в Японию (370 Бк/кг радиоактивного цезия – ¹³⁴Cs и ¹³⁷Cs), были установлены в качестве нормативных пределов после аварии на Чернобыльской АЭС в бывшем Советском Союзе в 1986 году [7].

4 апреля 2011 года была установлена политика, позволившая вводить ограничения на пищевые продукты не только в районах в пределах границ префектур, но и в соответствующих случаях в более мелких географических районах (таких как города, поселки и деревни). В рамках этой политики был предусмотрен процесс установления или снятия ограничений в отношении различных пищевых продуктов. Префектуры могли просить об изменении ограничений при условии, что результаты мониторинга были ниже временных нормативных показателей три раза подряд в пробах еженедельного мониторинга [7].

5 апреля 2011 года на основе замеренных концентраций ^{131}I в пробах рыб были добавлены временные нормативные показатели для концентраций активности радиоактивного йода в рыбных продуктах [114].

8 апреля 2011 года была определена политика в отношении ограничений на выращивание риса на сельскохозяйственных землях, уровень радиоактивного цезия которых превышал установленные критерии [6].

14 апреля 2011 года были установлены в качестве временных допустимых показателей уровни концентрации радионуклидов радиоактивного цезия и радиоактивного йода в животном корме. Несмотря на ограничения в отношении животного корма некоторые результаты проб говядины превышали временные нормативные показатели (в июле 2011 года). С тем чтобы не допустить попадания этого мяса к потребителям, был введен режим контроля [6].

1 апреля 2012 года начали действовать стандартные пределы, заменившие временные нормативные показатели. В этих пределах были предусмотрены концентрации активности для радионуклидов в пищевых продуктах и питьевой воде на основе эффективной дозы 1 мЗв в год (тогда как для временных нормативных показателей использовался критерий 5 мЗв в год) и с учетом составляющих дозы в виде ряда радионуклидов, выброс которых произошел во время аварии. Вследствие этого данные показатели оказались гораздо ниже временных нормативных показателей, которые они заменили [115].

3.3.3. Общественная информация

Процедуры информирования населения были предусмотрены до аварии. На национальном уровне существовали процедуры, в которых была учтена необходимость координации соответствующими организациями экстренного реагирования вопроса предоставления информации населению, включая содержание, сроки и способы передачи [73]. План ликвидации последствий бедствий префектуры Фукусима также содержал процедуры информирования населения [74].

АЯПБ, являющееся надзорным органом, отправило свое первое сообщение о последствиях землетрясения для ядерных установок с помощью мобильной связи (Mobile NISA) в 15:16 11 марта 2011 года, т.е. через 30 минут после землетрясения. Заявление о ядерной аварийной ситуации было сделано премьер-министром в 19:03 и объявлено на пресс-конференции в 19:45. За этим последовала пресс-конференция правительства в 21:52 относительно постановлений об эвакуации [6, 7].

Правительство страны, АЯПБ, местные организации экстренного реагирования, местные органы и ТЕПКО проводили отдельные пресс-конференции, которые продолжались до 25 апреля. Генеральный секретарь кабинета министров проводил регулярные пресс-конференции два раза в день, а также по мере необходимости для информирования общественности об аварии и изложения мнений правительства. В период с 11 марта по 31 мая 2011 года АЯПБ опубликовало свыше 150 пресс-релизов и провело 182 пресс-конференции [3]. Результаты экологического мониторинга сообщались на пресс-конференциях и брифингах для прессы министерством образования, культуры, спорта, науки и технологий.

В период с 25 марта по 24 апреля 2011 года Комиссия по ядерной безопасности (КЯБ) проводила пресс-конференции ежедневно, а в период с 25 апреля по 19 мая 2011 года КЯБ провела восемь пресс-конференций [3].

Начиная с 25 апреля 2011 года проводились совместные пресс-конференции различных организаций экстренного реагирования. Благодаря этому повышалась согласованность предоставляемой информации [6]. Начиная с апреля 2011 года Местный штаб реагирования на ядерные аварийные ситуации публиковал информационные бюллетени и распространял их в эвакуируемых зонах. Соответствующая информация также периодически передавалась по местному радио [3].

Были открыты "горячие линии" для реагирования на запросы общественности. Например, 11 марта 2011 года АЯПБ установило "горячую линию" для реагирования на запросы относительно развития аварийной ситуации и радиационной безопасности, которая в период с 17 марта по 31 мая 2011 года приняла около 15 000 звонков [3]; 13 марта была открыта "горячая линия" НИРН, которая до 11 апреля ответила почти на 6500 звонков [116]; 17 марта 2011 года министерство образования, культуры, спорта, науки и технологий и ЯААЭ открыли "горячую линию", на которую до 18 мая 2011 года поступило в общей сложности 17 500 звонков [3]. Префектура Фукусимы создала консультационные службы для ответа на вопросы жителей относительно различных аспектов радиации. Полученная от населения в порядке обратной связи информация через "горячие линии" и консультационные службы позволила выявить потребность в легко усваиваемой информации и вспомогательных материалах [3].

Начиная с 12 марта 2011 года правительство страны начало публиковать информацию на английском, китайском и корейском языках на веб-сайтах соответствующих министерств и ведомств [119]. Информация предоставлялась дипломатическому корпусу в Токио посредством регулярных брифингов, проводившихся правительством страны в период с 13 марта по 18 мая 2011 года ежедневно, а начиная с 19 мая – три раза в неделю [6]. Был создан также канал связи с дипломатическим корпусом посредством факсимильной связи и электронной почты. Дипломатические представительства Японии предоставляли своим принимающим государствам информацию, которая размещалась на веб-сайтах в общей сложности на 29 разных языках [3].

Начиная с 13 марта 2011 года соответствующие национальные министерства и государственные ведомства практически ежедневно проводили совместные пресс-конференции для иностранных средств массовой информации [6].

Сложности с предоставлением информации международному сообществу были вызваны главным образом высоким спросом на людские ресурсы для перевода материалов и реагирования на информационные запросы по телефону [117].

После аварии на АЭС "Фукусима-дайити" Япония начала публиковать оценки по Международной шкале ядерных и радиологических событий (ИНЕС). Оценки по ИНЕС использовались отдельно для различных объектов на одном участке. Эти оценки в течение месяца несколько раз пересматривались в сторону повышения. Всякий раз, когда оценка по ИНЕС пересматривалась в сторону повышения, это вызывало значительное беспокойство со стороны общественности и средств массовой информации.

3.3.4. Международная торговля

Были осуществлены многие мероприятия и меры с целью: (1) содействовать тому, чтобы общественность, промышленные круги и государства вновь поверили в безопасность японских товаров; (2) облегчить международную торговлю японскими товарами и не допустить задержек в их распространении; (3) консультировать и ориентировать деловые и промышленные круги, в частности в префектуре Фукусима [98, 99, 118, 119].

Большинство государств-импортеров ввели меры контроля в отношении японских товаров; многие усилили существующий контроль за импортом или запросили сертификат, выдаваемый правительством Японии, а некоторые запретили импорт японских товаров или товаров из некоторых районов Японии (главным образом сельскохозяйственной продукции) на определенный период времени. В июне 2011 года Япония ввела систему сертификации для предназначенных на экспорт пищевых продуктов, которая помогла убедить общественность и другие заинтересованные стороны в том, что контроль осуществляется. В сентябре 2011 года эта система была распространена на транспортные контейнеры и некоторые промышленные изделия, предназначенные для экспорта [120].

3.3.5. Обращение с отходами в аварийной фазе

Процедуры обращения с радиоактивными отходами, установленные в Японии до аварии, распространялись на отходы, образующиеся в результате эксплуатации таких установок, как атомные электростанции, но не включали радиоактивные отходы, которые образуются в местах, где находятся люди [121]. После аварии были разработаны подробные стратегии, руководящие принципы и инструкции по обращению с радиоактивными отходами.

3 июня 2011 года КЯБ издала «Краткосрочную политику обеспечения безопасности при обработке и удалении загрязненных отходов в районе площадки АЭС "Фукусима-дайити"» [122]. В этом документе содержались национальные критерии, касающиеся: рециклированных материалов; защиты рабочих, обрабатывающих материалы; защиты людей, находящихся в непосредственной близости от установок для обработки; и защиты людей, находящихся в непосредственной близости от пункта удаления. КЯБ предложила, чтобы затронутые аварией материалы, т.е. обломки, осадок от очистки воды и стоков, зола, деревья, растения и почва, возникшие в результате деятельности по дезактивации, удалялись в установленном порядке и чтобы был проработан вопрос

о повторном использовании некоторых материалов. Продукция, изготовленная из таких повторно использованных материалов, будет проверяться на предмет загрязнения и надлежащим образом обрабатываться, прежде чем она поступит на рынок. Надлежащие защитные меры позволят обеспечить, чтобы радиационное облучение рабочих и населения сохранялось на самом низком разумно достижимом уровне [122].

26 августа 2011 года Национальный штаб экстренного реагирования установил "Базовую политику в отношении экстренного выполнения работ по дезактивации" [123] в качестве временной политики до вступления в силу в полном объеме Закона о специальных мерах по борьбе с загрязнением окружающей среды радиоактивными материалами в результате их выброса во время аварии на атомной электростанции в регионе Тахоку после тихоокеанского землетрясения, которое произошло 11 марта 2011 года". Этот закон был принят 26 августа 2011 года, промульгирован 30 августа 2011 года, причем некоторые его части вступили в силу в тот же день, и в полном объеме вступил в силу в январе 2012 года [124]. В нем был установлен порядок управления загрязненными районами и предусмотрено распределение ответственности между национальными и местными органами, оператором и населением. Он облегчил переход от ситуации аварийного облучения к ситуации существующего облучения. В нем также были закреплены долгосрочный порядок экологического мониторинга, меры по дезактивации и обозначение, обработка, хранение и захоронение почвы и отходов, загрязненных радиоактивным материалом.

3.4. ПЕРЕХОД ОТ АВАРИЙНОЙ ФАЗЫ К ЭТАПУ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ РАБОТ И АНАЛИЗУ РЕАГИРОВАНИЯ

Конкретные стратегии, руководящие принципы, критерии и механизмы, необходимые для перехода от аварийной фазы к этапу восстановительных работ, до аварии на АЭС "Фукусима-дайити" не разрабатывались и были подготовлены лишь после нее. При разработке этих механизмов компетентные органы Японии использовали последние рекомендации Международной комиссии по радиологической защите (МКРЗ).

Был проведен анализ аварии и аварийного реагирования, и результаты этого анализа были представлены в виде докладов, включая доклады, выпущенные правительством Японии, эксплуатирующей организацией (ТЕПКО), двумя комитетами по расследованию, сформированными соответственно правительством и парламентом⁸³.

После аварии национальные механизмы обеспечения аварийной готовности и реагирования в Японии были во многих случаях пересмотрены с целью учета в них выводов указанных аналитических исследований, а также соответствующих норм безопасности МАГАТЭ в области аварийной готовности и реагирования.

⁸³ Были также изданы доклады, подготовленные научными кругами и частным сектором (например, Обществом по атомной энергии Японии и Фондом инициативы «Восстановление Японии») [125, 126].

3.4.1 Переход от аварийной фазы к этапу восстановительных работ

При разработке механизмов перехода от аварийной фазы к этапу восстановительных работ после аварии компетентные органы Японии приняли решение учесть последние рекомендации МКРЗ [127–129]. После аварии были выработаны конкретные стратегии, руководящие принципы и критерии, а также общие механизмы перехода от аварийной фазы к этапу восстановительных работ [130]. Этот процесс включал корректировку защитных мер и механизмов, примененных на начальных стадиях аварийного реагирования, и учет имеющейся информации (полученной главным образом посредством всестороннего мониторинга) о ситуации в пострадавших районах [131, 132]. Были также рассмотрены необходимые операции по восстановлению в более долгосрочной перспективе.

Данные меры и механизмы прежде всего отвечали неотложным потребностям, возникающим в процессе перехода. Постепенно, в зависимости от характера выполняемых работ, менялись положения о защите работников [6, 96].

17 апреля 2011 года ТЕПКО опубликовала «дорожную карту», в которой была намечена последовательность действий по восстановлению площадки (основная стратегия, целевые показатели и безотлагательные меры в области охлаждения, смягчения последствий, мониторинга и дезактивации) [24].

17 мая 2011 года МЭТП опубликовал «Дорожную карту безотлагательных мер по оказанию помощи пострадавшим от ядерной аварии» [130]. В этом документе перечислены девять групп мероприятий, разделенных на этапы, которые планировалось реализовывать в различные периоды, увязанные с дорожной картой ТЕПКО. Сроком выполнения этапа 1 указывалась середина июля, этап 2 должен был завершиться приблизительно через три-шесть месяцев после выполнения этапа 1, а реализация этапа 3 намечалась на среднесрочную перспективу. Данная дорожная карта была призвана способствовать коммуникации и подготовке к переходу к долгосрочным восстановительным работам и возобновлению нормальной общественной и хозяйственной деятельности. В ней были распределены обязанности и оговорены другие организационные аспекты процесса перехода, а также цели и условия завершения аварийной фазы.

3.4.2 Анализ реагирования

Различные органы провели анализ аварии и аварийного реагирования с целью извлечь уроки и внести усовершенствования, помимо прочих областей, в механизмы обеспечения аварийной готовности и реагирования в Японии. В результате был определен ряд таких усовершенствований.

Так, в докладе правительства Японии, представленном на состоявшейся в июне 2011 года Конференции МАГАТЭ на уровне министров [3], описаны извлеченные уроки в следующих областях, важных с точки зрения обеспечения аварийной готовности и реагирования: 1) сочетание стихийного бедствия и ядерной аварийной ситуации; 2) мониторинг окружающей среды; 3) распределение функций между центральными и местными организациями; 4) коммуникация в аварийной ситуации; 5) реагирование на помощь других государств и коммуникация с международным сообществом; 6) моделирование выбросов радиоактивных материалов; 7) критерии для

эвакуации и руководящие принципы радиационной защиты в ядерной аварийной ситуации⁸⁴.

Учрежденный правительством Комитет по расследованию аварии на АЭС «Фукусима» Токийской электроэнергетической компании установил, что Японии следует учесть опыт, накопленный международным сообществом, и включить в национальные руководящие материалы международные нормы, в том числе разработанные МАГАТЭ [5].

В подготовленном ТЕПКО докладе об анализе ядерной аварии на АЭС «Фукусима» [8] описаны проблемы, выявленные в ходе реагирования на аварийную ситуацию, в том числе в следующих областях: организация реагирования на аварийную ситуацию, передача информации, перевозка материалов и оборудования и радиационная защита.

Доклад учрежденной парламентом Японии Независимой комиссии по расследованию ядерной аварии на АЭС «Фукусима» содержал такие рекомендации, как, наряду с прочим, реформирование национальной системы обеспечения аварийной готовности и реагирования, включая уточнение функций и обязанностей правительства, местных органов власти и операторов в случае аварийной ситуации [7].

На основе результатов анализа и извлеченных уроков были приняты корректирующие меры по укреплению механизмов обеспечения аварийной готовности и реагирования [133, 134]. В целях обеспечения реализации правительством стратегий по реагированию в случае ядерной аварийной ситуации, а также содействия их реализации в Кабинете министров была создана комиссия по обеспечению готовности к ядерной аварийной ситуации [134]. Управление по ядерному регулированию разработало руководящие принципы реагирования на ядерную аварийную ситуацию⁸⁵ [136], в которых также учтены нормы безопасности МАГАТЭ в области аварийной готовности и реагирования.

3.5. РЕАГИРОВАНИЕ В РАМКАХ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ ГОТОВНОСТИ И РЕАГИРОВАНИЯ В СЛУЧАЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ

На момент аварии в мире действовала развитая международная система готовности и реагирования в случае аварийных ситуаций, включающая международно-правовые документы, нормы безопасности МАГАТЭ и механизмы оперативного взаимодействия⁸⁶.

⁸⁴ В сентябре 2011 года МАГАТЭ был представлен дополнительный доклад [4]. В нем приводились сведения о дальнейшем развитии событий и ходе работы над извлеченными уроками, которые были определены в первом докладе, опубликованном в июне 2011 года.

⁸⁵ В основе руководящих принципов реагирования на ядерную аварийную ситуацию лежит промежуточный доклад о пересмотре регулирующего руководства по обеспечению готовности ядерных установок к аварийной ситуации [93], изданный в 2012 году [135].

⁸⁶ Основными международно-правовыми документами являются Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации. На момент аварии действующими международными нормами безопасности в области аварийной готовности и реагирования, были документы серии норм безопасности МАГАТЭ, № GS-R-2 и № GS-G-2.1. [68] Документ серии норм безопасности МАГАТЭ, № 115 [137] также включал элементы, связанные с обеспечением аварийной готовности и реагирования. Международные механизмы оперативного взаимодействия основывались на Техническом пособии по оповещению и оказанию помощи в аварийных ситуациях (ENATOM), Сети реагирования и оказания помощи МАГАТЭ (РАНЕТ) Плате международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями (Совместном плане).

У МАГАТЭ на момент аварии было четыре функции по реагированию на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию: 1) оповещение и обмен официальной информацией через официально назначенные пункты связи; 2) предоставление своевременной, ясной и понятной информации; 3) предоставление по запросу и содействие оказанию международной помощи; и 4) координация межучрежденческого реагирования.

В международном реагировании на аварию участвовали многие государства и ряд международных организаций.

МАГАТЭ поддерживало связь с официальным пунктом связи в Японии, предоставляло информацию об аварии по мере ее поступления и обеспечивало информированность по соответствующим вопросам государств, соответствующих международных организаций и населения. На начальной стадии аварийного реагирования коммуникация с официальным пунктом связи в Японии была затруднена. После посещения Японии Генеральным директором МАГАТЭ и размещения в Токио сотрудников по связи вслед за этим коммуникация между МАГАТЭ и пунктом связи улучшилась. Кроме того, МАГАТЭ направляло в Японию миссии экспертов и координировало межучрежденческое реагирование.

В связи с аварией разные государства⁸⁷ принимали или рекомендовали своим гражданам, находившимся в Японии, различавшиеся по своему содержанию защитные меры. Различия в этих мерах, как правило, должным образом не разъяснялись общественности и в ряде случаев стали причиной недоразумений и обеспокоенности.

Соответствующие международные организации, входящие в состав Межучрежденческого комитета по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям, регулярно обменивались информацией. Кроме того, публиковались совместные пресс-релизы.

С помощью своих механизмов взаимодействия в случае аварии МАГАТЭ напрямую поддерживало связь с АЯПБ, которое являлось официальным пунктом связи в Японии [143]. Япония предоставляла информацию, как того требуют положения статьи 3 Конвенции об оперативном оповещении.

Секретариат МАГАТЭ предоставлял новую информацию об аварии по мере ее поступления и поддерживал информированность государств, соответствующих международных организаций и населения [143].

В функции МАГАТЭ в то время не входили прогнозирование потенциального развития событий при аварии или оценка ее возможных последствий. Его функции при реагировании на аварийную ситуацию на АЭС были расширены посредством принятия Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности [144]. Он требовал предоставления Агентством государствам-членам, международным организациям и населению во время ядерной аварийной ситуации своевременной, ясной, фактологически точной, объективной и легко доступной для понимания информации о потенциальных последствиях этой ситуации, включая анализ имеющейся информации и прогнозирование возможных сценариев на основе фактов, научных знаний и потенциальных возможностей государств-членов.

⁸⁷ Главную ответственность за обеспечение готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, а также за охрану жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды несет государство.

Вставка 3.4. Международная система готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации на момент аварии

Главную ответственность за обеспечение готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, а также за охрану жизни и здоровья людей, имущества и окружающей среды несет государство. Государство отвечает за наличие механизмов поддержания аварийной готовности и реагирования на национальном, региональном и местном уровне и на уровне эксплуатирующей организации/установки. В необходимых случаях государство отвечает также за координацию национальных механизмов обеспечения аварийной готовности и реагирования с соответствующими международными механизмами, к которым оно присоединилось или участником которых является (например, посредством заключения двусторонних и/или многосторонних соглашений).

Когда произошла авария, международная система включала международно-правовые документы, нормы безопасности МАГАТЭ и механизмы оперативного взаимодействия.

Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии и Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, называемые далее «Конвенция о раннем оповещении» и «Конвенция о помощи», наделяют МАГАТЭ и стороны конкретными функциями и обязанностями по реагированию. Различные международные организации на основании своих уставов или соответствующих международно-правовых документов выполняют функции и обязательства, охватывающие различные аспекты обеспечения аварийной готовности и реагирования [138, 139].

На момент аварии действующими нормами безопасности МАГАТЭ, касающимися аварийной готовности и реагирования, были документ серии норм безопасности МАГАТЭ № GS-R-2 (подготовленный в соавторстве с семью международными организациями) и документ серии норм безопасности МАГАТЭ № GS-G-2.1 (подготовленный в соавторстве с шестью международными организациями) [68, 69]. Кроме того, разделы об аварийной готовности и реагировании содержались в Международных основных нормах безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (Серия норм МАГАТЭ по безопасности, № 115) [137].

Международные механизмы оперативного взаимодействия основывались на Техническом пособии по оповещению и оказанию помощи в аварийных ситуациях (ENATOM), Сети реагирования и оказания помощи МАГАТЭ (РАНЕТ) и Плане международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями (Совместном плане) [140–142].

ENATOM способствовало выполнению тех положений Конвенции об оповещении и Конвенции о помощи, которые относятся к оперативному взаимодействию, например, положений об оповещении, обмене информацией и протоколах передачи данных для пунктов связи, установленных в соответствии с Конвенцией об оповещении и Конвенцией о помощи (посредством факсимильной или телефонной связи, электронной почты, надежного и защищенного веб-сайта, который контролируется круглосуточно). Эти меры отрабатывались на регулярных учениях различного уровня сложности, называемых «учениями в рамках конвенций» (ConvEx).

РАНЕТ была сформирована для упрощения процесса оказания по запросу международной помощи в соответствии с Конвенцией о помощи. Эта система представляет собой оперативный механизм оказания помощи в различных технических областях с использованием зарегистрированных в сети национальных средств.

Совместный план содержит описание общего понимания характера действий каждой организации во время реагирования и разработки механизмов готовности. В нем предусмотрен механизм координации и разъяснены функции и возможности подписавших его международных организаций. Выполнение плана контролирует Межучрежденческий комитет по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям (ИАКРНЕ), функции секретариата которого выполняет МАГАТЭ. На момент аварии в состав ИАКРНЕ входило международных межправительственных организаций.

На начальной стадии аварийного реагирования коммуникация с официальным пунктом связи в Японии была затруднена. После посещения 17–19 марта 2011 года Японии Генеральным директором МАГАТЭ и размещения вслед за этим в Токио сотрудников по связи коммуникация между МАГАТЭ и пунктом связи улучшилась [143].

Некоторыми государствами были выработаны рекомендации или конкретные указания по защите для своих граждан в Японии. Некоторые государства рекомендовали своим гражданам, находящимся в Японии, выполнять указания и рекомендации, выработанные органами власти Японии в связи с аварийной ситуацией, причем рекомендации ряда государств отличались от рекомендаций японских властей и других государств [145]. Различия в рекомендациях государств были вызваны разными причинами, в том числе отсутствием информации о развитии ситуации. Эти различия зачастую не были должным образом разъяснены общественности и в ряде случаев стали причиной непонимания и беспокойства.

МАГАТЭ направляло в Японию миссии экспертов и координировало направление предложений об оказании помощи Японии. Положения Конвенции о помощи не применялись, равно как и не использовались возможности Сети реагирования и оказания помощи (РАНЕТ)⁸⁸. Государства оказывали помощь Японии напрямую. Эта поддержка помогла правительству Японии справиться с ядерной аварийной ситуацией, которая наряду с последствиями землетрясения и цунами стала серьезным испытанием для национального потенциала в области реагирования. Одна из трудностей с получением международной помощи на ранних стадиях национального реагирования заключалась в отсутствии национальных механизмов ее получения [5, 143].

В соответствии со своими обязанностями Секретариат МАГАТЭ оперативно ввел в действие Совместный план и приступил к координации межучрежденческого реагирования. Члены ИАКРНЕ осуществляли обмен информацией, уделяя особое внимание, в частности, достижению взаимопонимания относительно последствий аварии и координируя деятельность по информированию населения. До июля 2011 года регулярно проводились видеоконференции. Кроме того, публиковались совместные пресс-релизы.

В рамках двусторонних соглашений между секретариатами Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций (ФАО), Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) и Всемирной метеорологической организации (ВМО) эти организации направили в МАГАТЭ своих сотрудников по связи для обеспечения эффективной координации международного реагирования.

3.6. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ

По итогам оценки готовности к аварии и реагирования на нее были зафиксированы соответствующие замечания и уроки. Реагирование на аварию подтвердило актуальность уроков, извлеченных из прежних аварийных ситуаций, и подтвердило важность обеспечения надлежащей готовности к аварийному реагированию.

⁸⁸ Секретариат МАГАТЭ совместно с государствами-членами, зарегистрированными в РАНЕТ, продолжает совершенствовать эту сеть, опираясь на опыт, полученный в связи с аварией на АЭС «Фукусима-дайти».

- При подготовке к реагированию на возможную ядерную аварийную ситуацию необходимо учитывать ситуации, в которых может произойти серьезное повреждение ядерного топлива в активной зоне реактора или отработавшего топлива на площадке, в том числе аварийные ситуации с выходом из строя нескольких энергоблоков на многоблочной станции, которые могут возникать одновременно со стихийным бедствием.

Следует учитывать вероятность возникновения, независимо от причин, тяжелой ядерной аварии с возможным повреждением более одного энергоблока на площадке, которая происходит одновременно со стихийным бедствием и может привести к разрушениям на площадке и выходу из строя местной инфраструктуры. Необходимо, чтобы в таких условиях могли функционировать системы, коммуникации и оборудование для мониторинга, используемые для получения основной информации, требуемой для реагирования на площадке и за ее пределами.

Помещения, в которых будет осуществляться управление деятельностью по реагированию (например, центры аварийного реагирования на площадке или за ее пределами), необходимо отбирать или проектировать таким образом, чтобы их можно было эксплуатировать во всем диапазоне аварийных условий (радиологических, рабочих и экологических условий), и их необходимо удобно располагать и/или защищать, так чтобы в этих условиях была обеспечена их пригодность к эксплуатации и к длительному пребыванию людей.

- В системе управления аварийными ситуациями должны быть четко определены функции и обязанности эксплуатирующей организации и местных и национальных органов при реагировании на ядерную аварийную ситуацию. Эта система должна регулярно тестироваться в ходе учений, включая взаимодействие между эксплуатирующей организацией и компетентными органами.

Необходимы механизмы, объединяющие меры реагирования на ядерную аварийную ситуацию с мерами реагирования на стихийные бедствия и техногенные катастрофы (такие как землетрясения, наводнения и пожары).

Необходимо, чтобы реагированием на площадке управлял персонал, находящийся на площадке и знакомый со станцией и ситуацией. Реагирование на площадке и за ее пределами необходимо координировать на основе заранее выработанных мер.

- Аварийные работники должны назначаться, и поручаемые им обязанности должны быть четко определены независимо от того, в какой организации они работают; они должны иметь надлежащую профессиональную подготовку, и при этом должна обеспечиваться их надлежащая защита в аварийной ситуации. Необходимо предусматривать механизмы привлечения к участию в реагировании аварийных работников, не назначенных для этой работы заранее до возникновения аварийной ситуации, а также добровольных помощников, желающих оказать помощь в аварийном реагировании.

Единообразные и достаточно подробные описания практических мер по защите аварийных работников необходимо включать во все соответствующие планы и процедуры. При этом следует учитывать и лиц, которые на стадии обеспечения готовности могли не быть назначены аварийными работниками. Дозовые критерии для аварийных работников необходимо вырабатывать заранее и применять согласованным образом в связи с выполняемыми при борьбе с аварией обязанностями. Необходимо предусматривать меры по обеспечению

хорошего самочувствия аварийных работников (включая контакты с членами семьи).

Кроме того, необходимо заранее планировать включение в работу организации, осуществляющей реагирование, добровольцев из населения (называемых «помощниками»), желающих оказать помощь в деятельности по реагированию, и обеспечение для них надлежащего уровня радиационной защиты.

- **Должны предусматриваться механизмы, позволяющие принимать решения по вопросам осуществления срочных мер по защите населения, выработанных заранее с учетом определенных условий на станции.**

Такие механизмы необходимы, поскольку существует вероятность, что системы поддержки принятия решений, в том числе те, в которых используется компьютерное моделирование, не смогут предсказать объем и время радиоактивного выброса («параметры источника выброса»), направление движения шлейфа, уровни выпадений или итоговые дозы достаточно быстро и точно для того, чтобы этот прогноз был единственным основанием для принятия решения о первоначальных экстренных мерах по защите населения.

На стадии обеспечения готовности необходимо разработать систему классификации аварийных ситуаций на основе наблюдаемых условий и поддающихся измерению критериев (уровней противоаварийных мер). Такая система позволяет объявить о возникновении аварийной ситуации вскоре после обнаружения на станции признаков фактического или неминуемого повреждения топлива и приступить к принятию заранее выработанных экстренных мер по защите населения (в заранее определенных зонах) немедленно после классификации аварийной ситуации оператором. Необходимо, чтобы данная система классификации аварийных ситуаций охватывала весь спектр нештатных условий на станции.

- **Должны предусматриваться механизмы, позволяющие при реагировании на развитие условий на станции или результаты мониторинга расширять срочные защитные меры или вносить в них изменения. Должны предусматриваться также механизмы, позволяющие приступать к принятию ранних защитных мер на основании результатов мониторинга.**

На стадии обеспечения готовности необходимо разработать, помимо прочих, следующие механизмы: 1) определения зон и районов аварийного планирования; 2) выработки дозовых и оперативных критериев (уровней поддающихся измерению величин), используемых для принятия экстренных защитных мер и других мер реагирования, в том числе мер в отношении особых групп населения в аварийных зонах (например, пациентов в больницах); 3) принятия экстренных защитных мер перед выбросом радиоактивных материалов или вскоре после него; 4) оперативного установления контроля доступа в районы, в которых действуют экстренные защитные меры; 5) расширения при необходимости зоны действия защитных мер за пределы установленных зон и районов аварийного планирования; 6) выработки дозовых и оперативных критериев, используемых для принятия ранних защитных мер и других мер реагирования, например по переселению и введению ограничений на пищевые продукты, которые обоснованы и оптимизированы с учетом целого ряда факторов, таких как радиологические и нерадиологические последствия, включая экономические, социальные и психологические последствия; 7) пересмотра оперативных критериев для принятия ранних защитных мер на основании сложившихся условий.

- **Должны предусматриваться механизмы, гарантирующие, что в случае ядерной аварийной ситуации защитные меры и другие меры реагирования будут приносить больше позитивных результатов, чем негативных. Для обеспечения подобного баланса необходимо предусматривать использование комплексного подхода к принятию решений.**

Такие механизмы необходимо разрабатывать при четком понимании всего спектра потенциальных опасностей для здоровья, сопровождающих ядерную аварийную ситуацию, и возможных радиологических и нерадиологических последствий любых защитных мер.

Защитные меры необходимо принимать своевременно, с обеспечением безопасности и учетом возможных неблагоприятных условий (например, суровых погодных условий или повреждений инфраструктуры). Для обеспечения безопасной эвакуации таких специальных учреждений, как больницы и дома престарелых или инвалидов, необходимы заблаговременные приготовления; должны быть обеспечены постоянный уход или надзор за лицами, нуждающимися в этом.

- **Должны предусматриваться механизмы оказания содействия лицам, принимающим решения, населению в целом и другим сторонам (например, медицинским работникам) в получении правильного представления о радиологических опасностях для здоровья, возникающих в случае ядерной аварийной ситуации, с тем чтобы решения по защитным мерам принимались обоснованно. Должны предусматриваться также механизмы, позволяющие разяснять вопросы, вызывающие обеспокоенность у населения, на местном, национальном и международном уровнях.**

При аварийной ситуации следует принять эффективные меры к тому, чтобы успокоить население. Такие меры включают в себя соотнесение измеримых величин (например, мощности дозы) и прогнозируемых доз облучения с теми или иными опасностями для здоровья, что позволяет соответствующим лицам, принимающим решения (и населению в целом), принимать обоснованные решения относительно защитных мер. Устранение общественного беспокойства способствует смягчению радиологических и нерадиологических последствий аварийной ситуации.

Опасения международной общественности могут быть частично устранены с помощью систем сертификации, которые подтверждают соответствие товаров в торговом обороте международным стандартам, что позволяет успокоить государства - импортеры таких товаров и население.

- **На стадии обеспечения готовности должны быть разработаны механизмы завершения защитных мер и других мер реагирования и перехода к этапу восстановительных работ.**

На стадии обеспечения готовности необходимо планировать переход к этапу долгосрочных восстановительных работ и возобновление нормальной общественной и хозяйственной деятельности. В рамках соответствующих мероприятий необходимо: 1) разработать официальные процессы принятия решений о завершении защитных мер и других мер реагирования; 2) четко распределить обязанности; 3) установить критерии завершения защитных мер и других мер реагирования; 4) разработать стратегию и процедуры консультирования населения.

- **Своевременное проведение анализа аварийной ситуации и реагирования на нее, извлечение уроков и определение возможностей для совершенствования позволяют повысить эффективность противоаварийных механизмов.**

Необходимо, чтобы подобный анализ включал в себя рассмотрение всех соответствующих механизмов, в том числе национальных законов и регулирующих положений, распределения полномочий и обязанностей, планов и процедур аварийного реагирования, технических средств, оборудования, обучения и учебных мероприятий. Результаты данного анализа служат основой для пересмотра механизмов, если в этом возникает необходимость. Соответствие пересмотренных противоаварийных механизмов предъявляемым требованиям необходимо продемонстрировать в ходе учений.

— **Необходимо повысить эффективность реализации международных договоренностей об оповещении и оказании помощи.**

Необходимо повышать уровень осведомленности о международных договоренностях об оповещении и оказании помощи в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации, а также о существующих оперативных механизмах, включая механизмы и процедуры оповещения и обмена информацией, запроса и оказания международной помощи и т.д. Необходимо повысить качество подготовки и учений по оперативным аспектам Конвенции об оперативном оповещении и Конвенции о помощи.

Необходимо, чтобы участие в существующих механизмах оказания международной помощи в соответствии с Конвенцией о помощи стало неотъемлемой составляющей национальной деятельности по обеспечению аварийной готовности. Необходимо, чтобы на стадии обеспечения готовности имелись механизмы запроса и получения помощи (на основе двусторонних соглашений или в соответствии с Конвенцией о помощи) в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации.

Необходимо постоянно обновлять перечни официально назначенных пунктов связи, как требуется в соответствии с Конвенцией об оповещении и Конвенцией о помощи, и поддерживать их готовность к незамедлительному предоставлению информации по запросу МАГАТЭ.

Применение на национальном уровне норм безопасности МАГАТЭ, касающихся аварийной готовности и реагирования, позволит повысить готовность и улучшить реагирование, будет содействовать обмену информацией в аварийной ситуации и способствовать согласованию национальных критериев принятия защитных мер и других мер реагирования.

— **Необходимо улучшить процесс консультаций и обмен между государствами информацией относительно защитных мер и других мер реагирования.**

Консультации и обмен между государствами информацией относительно защитных мер и других мер реагирования в случае аварийной ситуации позволяют обеспечить согласованность предпринимаемых действий. Кроме того, четкое и понятное разъяснение технических обоснований принимаемых решений относительно защитных мер и других мер реагирования крайне важно для улучшения их понимания и поддержки со стороны общественности как в стране, так и на международном уровне.

4. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

В разделе 4 рассмотрены радиологические последствия аварии на атомной электростанции (АЭС) "Фукусима-дайти", касающиеся людей и окружающей среды. Радиологические последствия аварии стали предметом рассмотрения ряда международных организаций и органов. ВОЗ подготовила предварительную оценку доз облучения [146], а также оценку рисков, связанных с этой аварией [147]. Позднее НКДАР ООН была проведена оценка уровней и последствий облучения [148]. Выводы, касающиеся радиационной защиты, были обобщены МКРЗ [149, 150]. Другие международные организации, в частности ФАО и ВМО также представили соответствующую информацию. Некоторые аспекты этой международной деятельности описаны во вставке 4.1.

Вставка 4.1. Международная деятельность, связанная с радиологическими последствиями аварии на АЭС "Фукусима-дайти"

Помимо МАГАТЭ изучением радиологических последствий аварии на АЭС "Фукусима-дайти" занимались другие международные органы.

- Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) – специализированное учреждение Организации Объединенных Наций, занимающееся вопросами общественного здравоохранения – выпустило предварительную оценку доз облучения, полученных в результате аварии [146], а затем – оценку риска для здоровья [147].
- Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), подчиняющийся Генеральной Ассамблее Организации Объединенных Наций, представил свои оценки уровней и последствий радиационного облучения, связанного с аварией, в том числе значительный массив данных о радиоактивности окружающей среды и дозах облучения [148].
- Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) – неправительственный международный орган экспертов, занимающийся подготовкой широко применяемых рекомендаций по радиологической защите – выпустила обзор вопросов радиологической защиты во время и после аварии, предназначенный для усовершенствования международной системы радиологической защиты [149, 150].
- Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций (ФАО) – специализированное учреждение системы Организации Объединенных Наций, изучающее практику сельского хозяйства, лесоводства и рыбного промысла в целях обеспечения надлежащего питания и продовольственной безопасности для всех – в партнерстве с МАГАТЭ в рамках Межучрежденческого комитета по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям (ИАКРНЕ) провела работу по вопросам подготовки и реагирования в случае ядерных или радиационных аварийных ситуаций, затрагивающих продовольствие, сельское хозяйство, лесное и рыбное хозяйство, и сформировала масштабную базу данных по концентрациям радионуклидов в продуктах питания в связи с этой аварией [151].
- Всемирная метеорологическая организация (ВМО) – специализированное учреждение системы Организации Объединенных Наций по вопросам метеорологии, оперативной гидрологии и связанных с ней геофизических наук – подготовила оценку данных метеорологического анализа рассеивания и осадения радионуклидов вследствие аварии [152].
- Агентство по ядерной энергии Организации экономического сотрудничества и развития (АЯЭ/ОЭСР) представило информацию о принятых мерах реагирования в области ядерной безопасности и уроках, извлеченных в связи с аварией [153].
- Эти и другие организации, такие как Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Международная организация труда (МОТ), Панамериканская организация здравоохранения (ПАОЗ) и Европейская комиссия (ЕК), принимают участие в разработке международных *норм безопасности*, которые выпускаются под эгидой МАГАТЭ. ВОЗ выпускает Руководство по обеспечению качества питьевой воды, содержащее параметры радиоактивности в питьевой воде, которое будет использоваться в ситуациях существующего облучения [154]. Комиссия по Codex Alimentarius ФАО и ВОЗ выпускает Codex Alimentarius – сборник согласованных на международном уровне продовольственных стандартов для охраны здоровья потребителей и обеспечения справедливой практики международной торговли продовольствием; в сборнике содержатся нормы присутствия радионуклидов в пищевых продуктах [155].

Официальные органы многих государств, включая Японию, провели множество оценок радиологических последствий аварии на АЭС "Фукусима-дайти" (например, [5]). Национальные специализированные организации по радиационной защите, как в Японии, так и в других странах, сделали важные выводы, касающиеся радиационной защиты (см., например, [156]). В июне 2011 года [158] префектура Фукусима начала медицинское обследование населения префектуры Фукусима [157]. Это обследование, описанное во вставке 4.2, обсуждалось на Международном симпозиуме экспертов в Фукусиме [159, 160].

Вставка 4.2. Медицинское обследование населения префектуры Фукусима

Медицинское обследование населения префектуры Фукусима представляет собой общее изучение и исследование положения со здоровьем людей в префектуре Фукусима [157]. Оно проводится на основе ряда опросников и имеет следующие цели: "1) оценить дозу облучения жителей, 2) отслеживать состояние здоровья жителей в целях профилактики заболеваний, их раннего обнаружения и оперативного лечения, с тем чтобы 3) поддерживать и улучшать их здоровье в будущем" [161].

После опроса Национальный институт радиологических наук (НИРН) оценил эффективные дозы, которые обусловлены внешним облучением, полученным за четыре месяца после ядерной аварии; оценка производилась с учетом зарегистрированных перемещений респондентов и известных данных о соответствующих уровнях излучения. Кроме того, проводились подробные обследования, которые включали в себя: 1) ультразвуковое исследование щитовидной железы примерно у 370 000 жителей, возраст которых во время ядерной аварии составлял от 0 до 18 лет (предварительное обследование проводилось в первые три года после аварии, а с 2014 года проводились полные исследования щитовидной железы и регулярный последующий мониторинг состояния жителей); 2) комплексную проверку состояния здоровья, направленную на раннее обнаружение и терапию заболеваний, а также профилактику заболеваний, связанных с жизненными условиями (основную массу исследуемых составили 210 000 бывших жителей района эвакуации, условия жизни которых значительно изменились после аварии; дополнительные проверки, такие как определение лейкоцитарной формулы, выполняются отдельно от обычных тестов, проводимых во время общих медицинских осмотров по месту работы или организуемых местными государственными учреждениями); 3) исследование психического состояния и условий жизни, направленное на обеспечение адекватной помощи, в основном для эвакуированных лиц, подверженных повышенному риску развития психических проблем, таких как посттравматическое стрессовое расстройство, состояние тревоги и стресс; 4) исследование протекания беременностей и рождений, с целью оказания надлежащей медицинской помощи и поддержки матерям и детям, которым в период с 1 августа 2010 года по 31 июля 2011 года была выдана карта здоровья матери и ребенка (это обследование обновляется каждый год с учетом новых данных, в особенности касающихся беременностей и рождений [162]).

Медицинский университет Фукусимы получил мандат на проведение медицинского обследования от префектуры Фукусима и создал Центр научной радиационной медицины для медицинского обследования населения префектуры Фукусима в целях проведения базового обследования с оценкой внешней дозы облучения и четырех подробных обследований. Это обследование и его результаты периодически анализируются Комитетом префектуры Фукусима по надзору за медицинским обследованием населения префектуры Фукусима.

Данный раздел основан на перечисленных международных и национальных данных, оценках и расчетах и новой информации, в частности сведениях, представленных МАГАТЭ органами власти Японии для подготовки настоящего доклада. Следует отметить, что оценки, приведенные в различных международных и национальных докладах, выполнялись в разное время и оперируют различными объемами информации. Таким образом, в некоторых случаях можно напрямую сопоставить результаты различных оценок, однако расхождения данных, методологий и сроков исследований затрудняют любое детальное сравнение.

Величины и единицы

Для мониторинга и регистрации радиологических данных об аварии применялись специализированные международные величины⁸⁹ и единицы⁹⁰ [163, 164]. Основные международные величины и единицы радиационной защиты, используемые в настоящем докладе, кратко описаны во вставке 4.3.

Вставка 4.3. Основные международные величины и единицы радиационной защиты, используемые в настоящем докладе

Величина, используемая для описания радиоактивности, называется *активностью* и измеряется в *беккерелях* (Бк). Один беккерель представляет собой чрезвычайно малый уровень активности. Например, организм человека содержит калий-40 с естественной радиоактивностью около 5000 Бк (140 г калия при массе тела 70 кг). Поэтому для измерения крупных выбросов радионуклидов после аварии в настоящем докладе эта единица измерения используется с соответствующей приставкой, например, "пета-" (П): 1 петабеккерель (ПБк) равен 10^{15} Бк.

Выброс радиоактивного материала привел к воздействию на людей ионизирующего излучения, причем облучение было как *внешним*, т.е. с источником активности вне тела, так и *внутренним*, когда радионуклиды попали в организм (например, при пероральном поступлении, ингаляционным путем или через кожу). Величина, характеризующая среднее радиационное облучение органов и тканей, называется *поглощенной дозой*, измеряется в джоулях на килограмм или *греях* (Гр) и часто выражается в тысячных долях Гр или *миллигреях* (мГр).

Для целей радиационной защиты значения поглощенной дозы должны быть взвешенными, поскольку вредоносность разных видов излучения и чувствительность различных органов и тканей к радиационному облучению неодинаковы. Величина, полученная при умножении поглощенной органами или тканями дозы на весовые множители излучения, называется *эквивалентной дозой*, измеряется в *зивертах* (Зв) и, как правило, выражается в тысячных долях Зв или *миллизивертах* (мЗв). В настоящем докладе также используются тысячные доли мЗв или микрозиверты (мкЗв). Величина, полученная путем умножения на *тканевый весовой множитель*, называется *эффективной дозой* и также измеряется в мЗв. У разных людей эффекты одинаковой дозы облучения могут несколько различаться, однако для целей радиационной защиты дозы рассчитываются на основе воздействия на условного индивида с идеальными характеристиками, так как учесть индивидуальные отличия невозможно.

Понятия "*поглощенная доза*" и "*эквивалентная доза*" используются для обозначения доз, полученных тканями и органами. С учетом типа рассматриваемого излучения во всех случаях радиационного облучения в связи с аварией (кроме незначительного облучения нейтронами) указывались поглощенные дозы, количественно равные соответствующим эквивалентным дозам, и наоборот. *Эффективная доза* используется для оценки последствий для всего тела. Внутреннее облучение будет продолжаться до тех пор, пока в организме остаются радиоактивные вещества, попавшие в него ингаляционным или пероральным путем. *Ожидаемая доза*, обусловленная продолжительным облучением, рассчитывается как доза, накопление которой ожидается в течение срока жизни облученного пациента.

В качестве референтных значений обычно получаемых эффективных доз приводятся следующие оценочные показатели [165]:

- глобальное естественное фоновое излучение приводит к получению средней годовой эффективной дозы 2,4 мЗв с диапазоном, обычно составляющим 1–13 мЗв, при этом значительные группы населения получают до 10–20 мЗв, а в исключительных случаях – примерно до 100 мЗв;
- глобальная усредненная годовая эффективная доза, связанная с медицинской радиодиагностикой, составляет 0,6 мЗв, а в результате однократного компьютерного томографического обследования может быть получена эффективная доза, примерно равная 10 мЗв (следует отметить, что медицинское облучение обычно локализовано в одной из частей тела, т.е. оно распределяется по организму неравномерно).

⁸⁹ В настоящем докладе термин "величина" используется в его научном значении, относящемся к измеряемым свойствам тех или иных явлений – в данном случае радиоактивности или излучения.

⁹⁰ "Единица" величины – это определенное значение такой величины, которое используется в качестве стандарта измерения.

Другие используемые на практике величины являются производными основных величин радиационной защиты. Во вставке 4.4 описаны некоторые из этих производных величин и рассматривается ряд связанных с ними вопросов. В связи с аварией у людей возникли затруднения в понимании многочисленных величин и единиц. В своей оценке вопросов радиологической защиты, возникших во время и после аварии, МКРЗ пришла к выводу, что в будущем потребуется принять международные меры к тому, чтобы "снять любую неопределенность по поводу величин и единиц радиационной защиты" [149].

Вставка 4.4. Величины измерения и операционные термины

Защитные величины "эквивалентная доза" и "эффективная доза" не поддаются непосредственному измерению. Поэтому приборы для измерения внешнего облучения, которому подвергаются люди или которое присутствует в природе (или в окружающей среде), проходят калибровку по операционным величинам, которые называются соответственно *эквивалентом индивидуальной дозы* и *эквивалентом амбиентной дозы*. Это косвенные показатели защитных величин, т.е. измеренные величины, применяемые для прогнозирования значений искомых величин; они также измеряются в мЗв. Эти операционные величины применялись для мониторинга после аварии и используются в докладе для отражения контролируемых значений.

В зависимости от типа ситуации облучения для объяснения концепции контроля облучения используются следующие конкретные термины:

- в *ситуациях планируемого облучения*¹ говорится о *дополнительной дозе*, которая, как ожидается, будет добавлена в связи с планируемой операцией. В этих ситуациях соответствующие ограничения индивидуальной дозы описываются как *пределы дозы*. Предел дозы – это значение дополнительной эффективной дозы или дополнительной эквивалентной дозы, получаемой лицами в ситуации планируемого облучения; превышение этого значения не предусмотрено. Этот термин означает дополнительную индивидуальную дозу в результате внешнего облучения за определенный период времени плюс дополнительную индивидуальную ожидаемую дозу в результате поступления радионуклидов в этот период времени;
- в *ситуациях аварийного облучения*² используются три понятия дозы: 1) *прогнозируемая доза* (доза, которая, как предполагается, будет получена, если не принимаются защитные меры); 2) *предотвращаемая доза* (доза, получение которой можно предотвратить, если принимаются защитные меры); 3) *остаточная доза* (доза, которая, как предполагается, будет получена в *ситуациях существующего облучения*³, сохраняющихся после прекращения защитных мер). Термин "*контрольные (референтные) уровни*" относится к остаточным дозам, принимаемым за указательные уровни для оптимизации защиты. Они представляют уровень дозы, "выше которого сочтено неприемлемым допускать планируемое облучение, а ниже которого следует проводить оптимизацию защиты" [129].

Существуют также производные величины *активности*, такие как величины, связанные с присутствием радиоактивности в окружающей среде и выражающие активность на земной поверхности или в потребительских товарах. Соответствующие производные величины – это *плотность осадения*, которая выражает *активность на единицу площади* и обычно измеряется в Бк/м², *удельная активность*, которая выражает *активность на единицу массы* и обычно измеряется в Бк/кг, и *концентрация активности*, которая выражает *активность на единицу объема* и обычно измеряется в Бк/л. Этими величинами обычно обозначают *загрязнение (радиоактивное)*. В международных нормах этот термин официально определяется следующим образом: 1) *присутствие* радионуклидов на поверхностях или внутри твердых материалов, жидкостей или газов (в том числе в теле человека), где их присутствие не предполагается или не является желательным, или 2) *процесс*, приводящий к их присутствию в таких местах; при этом в обоих случаях не указывается масштаб связанной с этим опасности. Тем не менее

Вставка 4.4. Величины измерения и операционные термины (продолжение)

термин "загрязнение" несет в себе сопутствующее значение засоренности или опасности, которое не подразумевается его формальным прямым значением, относящимся к присутствию или процессу.

¹ *Ситуации планируемого облучения* возникают в результате запланированной эксплуатации источников излучения (например, нормальной эксплуатации АЭС "Фукусима-дайити") или запланированной деятельности, приводящей к облучению от источника. Поскольку меры по обеспечению защиты и безопасности могут быть приняты заблаговременно, облучение может быть ограничено с самого начала. В ситуациях планируемого облучения ожидается получение некоторой дозы облучения.

² *Ситуации аварийного облучения* включают в себя ситуации облучения, которые возникают в результате аварии и в целях недопущения или уменьшения неблагоприятных последствий требуют немедленных действий.

³ *Ситуации существующего облучения* – это ситуации, в которых облучение уже существует в тот момент, когда необходимо принимать решение о введении требуемого контроля, включая облучение от радиоактивного материала, который остался после ядерной или радиологической аварийной ситуации, когда было объявлено об окончании ситуации аварийного облучения.

Неопределенности

Оценка радиологических последствий аварии связана с рядом неопределенностей, которые зачастую выражаются как диапазон вероятных значений соответствующих величин. Некоторые из этих неопределенностей учитывались после статистического анализа рассматриваемых переменных, например, при оценке индивидуальной дозы излучения вследствие внешнего облучения, однако не все неопределенности удалось устранить. Хотя риски, обусловленные радиационным облучением, изучены глубже, чем риски, обусловленные воздействием других факторов, важно надлежащим образом учитывать соответствующие неопределенности и сообщать о них [166, 167].

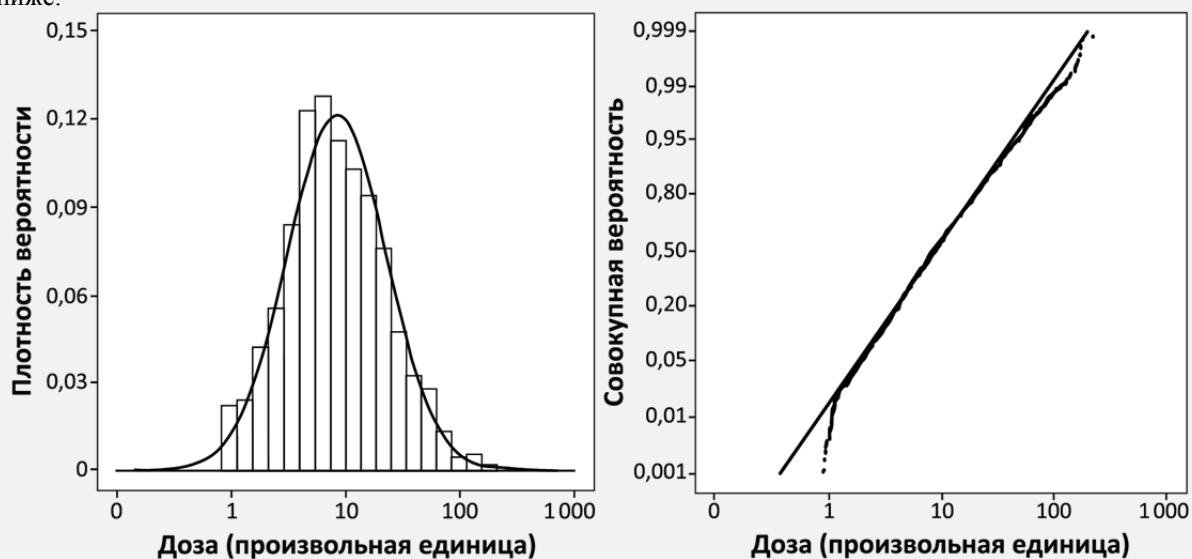
Статистический анализ

В целях устранения неопределенностей был произведен статистический анализ данных о некоторых соответствующих переменных. К этим переменным относятся удельная активность в продуктах питания и, в частности, индивидуальные дозы излучения. Анализ доз излучения охватывал оценки, основанные на использовании вопросников и данных об излучении в окружающей среде и природе, а также оценки, основанные на индивидуальном контроле с использованием индивидуальных дозиметров и подсчете приобретенной радиоактивности во всем теле. Основы статистического анализа обобщены во вставке 4.5, где описано распределение вероятностей приведенных данных, в частности *логарифмически нормальное распределение вероятностей*, которое использовалось в данном анализе. Существует множество обстоятельств, в которых данные многократных измерений, включая измерения величин в окружающей среде, должны статистически распределяться по принципу логарифмически нормального распределения вероятностей. Накоплен большой массив информации о статистическом распределении доз, полученных подвергшимся облучению населением, демонстрирующей приближенно логарифмически нормальные распределения. Соответствующие подтверждающие данные содержатся в оценках дозы профессионального облучения НКДАР ООН [168], а также в анализе доз, полученных населением в связи с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 году [169]. Вместе с тем в представленных в аналитических исследованиях данных был выделен ряд проблемных пунктов, касающихся логнормального распределения; некоторые из них кратко излагаются во вставке 4.6.

Вставка 4.5. Статистический анализ данных оценок и измерений

Некоторые релевантные данные, используемые в настоящем докладе, в частности данные об индивидуальных дозах, а также об активности в продуктах питания, стали объектом статистического анализа. Значения переменных величин (т.е. значения активности или дозы) были классифицированы по их частотному распределению. С этой целью было произведено *бинирование* всего диапазона данных, или их группировка по *бинам*, т.е. сортировка данных по сериям диапазонов численных значений с малыми интервалами в целях анализа. Относящиеся к каждому бину данные были отображены в виде примыкающих друг к другу элементов на *гистограмме*, т.е. диаграмме, состоящей из соответствующих бинам прямоугольников: их положение отражает значения величины, а размеры – количество данных в каждом бине. Затем гистограмма была нормализована путем умножения значений прямоугольников на коэффициент, позволяющий сделать общую площадь прямоугольников равной 1. Когда имеется достаточный объем данных и интервалы становятся очень малыми, вид гистограммы напоминает плавную кривую, которую называют *плотностью распределения вероятности*; она описывает относительную вероятность того, что рассматриваемая величина (например, активность в продуктах питания или полученная людьми доза) будет иметь некоторое заданное значение.

Чаще всего встречается *нормальное* (или гауссово) распределение, график которого представляет собой колоколообразную кривую плотности распределения вероятности, симметричную относительно точки максимальной вероятности, однако наиболее релевантным для целей настоящего доклада является *логарифмически нормальное* или *логнормальное* распределение. Логнормальное распределение – это вероятностное распределение величины (такой как активность или доза), логарифм которой имеет нормальное распределение. Таким образом, логнормальная плотность распределения вероятности симметрична относительно максимума только тогда, когда она отображается в виде функции логарифма величины (например, логарифма активности или логарифма дозы), а не функции самой величины. Примером такого логарифмически нормального распределения вероятности является идеализированная гистограмма и ее график плотности распределения вероятности, приведенный в левой части рисунка ниже.



Плотность распределения вероятности можно проинтегрировать, и это означает, что значения бинов на нормализованной гистограмме могут быть суммированы от наименьшего к наибольшему значениям величины. Такое суммирование в качестве функции величины называется *функцией совокупной вероятности* и описывает вероятность того, что значение величины с заданным распределением вероятности не будет превышать некоторого заданного значения.

На координатной плоскости логнормальная функция совокупной вероятности может быть представлена в виде прямой линии, у которой координата по оси абсцисс означает логарифмированную величину (например, дозу), а координата по оси ординат – совокупную вероятность, выраженную в виде *нормальной* функции. Пример такого представления приведен в правой части рисунка выше; это график, на котором интегрированные значения принадлежащих бинам фактических экспериментальных данных с левого рисунка представлены относительно прямой линии.

Вставка 4.6. Проблемы, связанные с логарифмически нормальным распределением данных

Хотя бинирование наборов данных обычно дает относительно плавное распределение уровней бинов, с некоторыми наборами данных из представленной информации было не так. В этих наборах данных распределение бинов выглядит прерывистым – в основном из-за большого количества данных в том или ином бине. Например, в некоторых наборах данных все значения, близкие к пределу обнаружения, были сгруппированы в одном (первом) бине без разграничения, тогда как более высокие значения были разграничены надлежащим образом. Для целей статистического анализа было решено распределить эти ошибочно сгруппированные данные в соответствии с плотностью распределения вероятности, рассчитанной по фактическим данным (с использованием их релевантных статистических значений, таких как среднее и стандартное отклонение), и на этой основе построить гипотетическую, сформированную случайным образом функцию распределения с большим количеством бинов. Таким образом была получена концептуальная гистограмма, адаптированная с учетом статистических значений фактических данных; ей может соответствовать плавная кривая плотности распределения вероятности. Эта плотность распределения вероятности, описывающая как выглядело бы идеальное распределение при достаточной степени детализации и разграничения данных, представлена в докладе на соответствующих рисунках вместе с функцией совокупной вероятности. На одном из рисунков для сравнения представлено также фактическое распределение бинов.

Логарифмически нормальное распределение может наблюдаться не по всей протяженности диапазона данных, однако эти отклонения, особенно отклонения графика совокупной вероятности от прямой линии, как правило, могут быть детально обоснованы и являются важным элементом анализа. Причиной отклонения является неопределенность, обусловленная как самими измерениями, так и статистическим характером процесса отбора проб. Отдельной проблемой анализа полученных доз, типичной для аварийных ситуаций, является вероятная неоднородность категорий облученных людей. Еще одной причиной неопределенности является ограниченность распределения данных; так, при высоких дозах совокупная вероятность может оказаться выше ожидаемой (т.е. высокую дозу получает меньшее, чем ожидалось, число людей), что, скорее всего, объясняется успешным применением пределов дозы. Если они выше ожидаемых в диапазоне низких доз (т.е. низкие дозы получает большее, чем ожидалось, число людей), то вероятно, что доза, равная пределу обнаружения, была (ошибочно) приписана всем людям с дозами ниже этого предела; и напротив, если они ниже ожидаемых, то это может означать, что нулевая доза была приписана (опять же ошибочно) всем людям с дозами ниже уровня обнаружения. Некоторые отклонения от прямой линии проявились в связи с высоким уровнем непоследовательности местных данных; например, когда смешивались две разные группы населения, такие как эвакуированные лица и жители, оставшиеся в районе, могли появиться данные об изменении траектории кривой распределения совокупной вероятности, каждый сектор которой отражает дозы, полученные в каждом районе. Иногда затягивались сроки сбора информации, что искажало данные, например, в связи с радиоактивным распадом с течением времени. Отклонения от линейного характера логнормального графика совокупной вероятности могут быть использованы для выработки достоверных корректировок базовых данных.

4.1. РАДИОАКТИВНОСТЬ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ

В результате аварии произошел выброс радионуклидов в окружающую среду. Оценка выбросов проводилась многими организациями с применением различных моделей. Большая часть выбросов в атмосферу подверглась переносу преобладающими ветрами с рассеиванием и осаждением в северной части Тихого океана. Неопределенности в оценках количества и состава выбросов радиоактивных веществ было сложно устранить по ряду причин, в том числе из-за отсутствия данных мониторинга осаждения атмосферных выбросов на поверхность океана.

Изменения направления ветра привели к тому, что на суше произошло осаждение относительно небольшой части атмосферных выбросов, в основном в северо-западном направлении от АЭС "Фукусима-дайити". Наличие и активность осадений радионуклидов в земной среде контролировались путем мониторинга и

характеризации. Измеренные уровни активности радионуклидов снижаются с течением времени вследствие процессов физического распада, переноса в окружающей среде, а также мероприятий по очистке.

Помимо радионуклидов, поступавших в океан в результате атмосферного осаднения, происходили жидкие выбросы и сбросы с площадки АЭС "Фукусима-дайити" непосредственно в море. Точное перемещение радионуклидов в океане сложно оценивать только путем измерений, и для оценки рассеивания радионуклидов в океане был использован ряд моделей их переноса в океане.

Высвобожденные радионуклиды, такие как ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , были обнаружены в питьевой воде, продовольствии и некоторых непродовольственных продуктах. В рамках реагирования на аварию власти Японии ввели ограничения с целью не допустить потребления и использования этих продуктов.

4.1.1. Выбросы

Было выполнено множество оценок выбросов радионуклидов вследствие аварии на АЭС "Фукусима-дайити" с использованием опробованных математических моделей, методов и соответствующих компьютерных кодов (см. [170–177]).

На ранней стадии аварии в шлейфе выбросов в атмосферу также присутствовали инертные газы ^{85}Kr и ^{133}Xe с периодами полураспада 10,76 лет и 5,25 суток, соответственно. Короткоживущий ^{131}I с периодом полураспада 8,02 суток был одним из элементов, способствующих накоплению эквивалентных доз в щитовидной железе в случае перорального или ингаляционного поступления. Более долгоживущие ^{134}Cs и ^{137}Cs с периодами полураспада 2,06 лет и 30,17 лет, соответственно, способствовали накоплению эквивалентных доз и эффективных доз при внешнем и внутреннем облучении. Хотя ^{131}I распадается относительно быстро, его воздействие может привести к образованию относительно высоких эквивалентных доз в щитовидной железе. В некоторых районах в окружающей среде может сохраняться ^{137}Cs ; если не будет проведена реабилитация, он может и далее способствовать накоплению эффективной дозы у людей.

Кроме того, в различных количествах происходил выброс радионуклидов стронция, рутения и некоторых актинидов (например, плутония). Как указано в разделе 2.1, у главных въездных ворот станции (которые находятся примерно в 1 км от энергоблоков 1–3) в период с 05:30 до 10:50 13 марта было зарегистрировано появление нейтронов. Согласно оценкам, нейтроны появились в результате спонтанного деления ядер радионуклидов, выброс которых произошел в результате повреждения активной зоны реактора. Такое явление было предсказуемым, и сообщалось о присутствии этих радионуклидов в относительно небольших объемах.

Выбросы в атмосферу

Инертные газы составляют значительную часть первоначальных выбросов с АЭС "Фукусима-дайти"; согласно оценкам объем выбросов составил от примерно 6000 – 12 000 ПБк ^{133}Xe (по первоначальным оценкам 500–15 000 ПБк). Средняя общая активность высвободившегося ^{131}I составила примерно 100–400 ПБк, а активность ^{137}Cs – примерно 20 ПБк (или по первоначальным оценкам 90–700 ПБк и 7–50 ПБк). Выбросы в результате данной аварии оцениваются приблизительно в одну десятую объема выбросов, связанных с аварией на Чернобыльской АЭС в 1986 году [169, 178, 179]. Большая часть выбросов рассеялась над северной частью Тихого океана; в результате повторное подтверждение объема и изотопного состава высвободившегося материала (*параметры источника выброса*) путем измерения содержания отложений радионуклидов в окружающей среде невозможно [177].

Выбросы в море

Большая часть выбросов в атмосферу рассеялась над северной частью Тихого океана в поверхностном слое воды. Имели место прямые выбросы, а также сбросы в море с площадки, при этом основным источником высокорadioактивной воды стал желоб вблизи АЭС "Фукусима-дайти". Пиковый уровень радиоактивных выбросов наблюдался в начале апреля 2011 года. Объем прямых выбросов и сбросов ^{131}I в море по оценкам составил 10–20 ПБк. Прямые выбросы и сбросы ^{137}Cs по оценкам в результате большинства анализов составили 1–6 ПБк, однако в некоторых оценках указывались значения от 2,3 до 26,9 ПБк [175].

4.1.2. Рассеивание

Для оценки рассеивания было использовано множество теоретических моделей. Были произведены масштабные замеры концентрации активности ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs в окружающей среде, в том числе в воздухе, почве, морской воде, отложениях и биоте; их результаты также применялись для оценки рассеивания выбросов.

Рассеивание в атмосфере

Радиоактивные выбросы перемещались в атмосфере в основном на восток и север Японии по направлению преобладающего ветра, а затем – по всему земному шару. На рисунке 4.1 приведен пример множества моделей атмосферного переноса, которые использовались для оценки переноса различных радионуклидов в атмосфере и схем их осаждения и описывают результаты моделирования глобального рассеивания ^{137}Cs [180]. Концентрация активности в воздухе показана на рисунке с использованием приведенной в источнике исходной цветовой маркировки, где небольшие изменения оттенка цвета соответствуют изменению величины концентрации активности на один порядок. Эта иллюстрация приводится для подтверждения вывода о том, что концентрация активности в атмосфере значительно уменьшилась по мере удаления от АЭС "Фукусима-дайти".

Высокочувствительные сети радиационного мониторинга обнаружили крайне низкие уровни радиоактивности, связываемые с данной аварией, даже в Европе и Северной Америке. При этом последствия этих выбросов на уровне глобальной фоновой радиоактивности окружающей среды пренебрежимо малы.

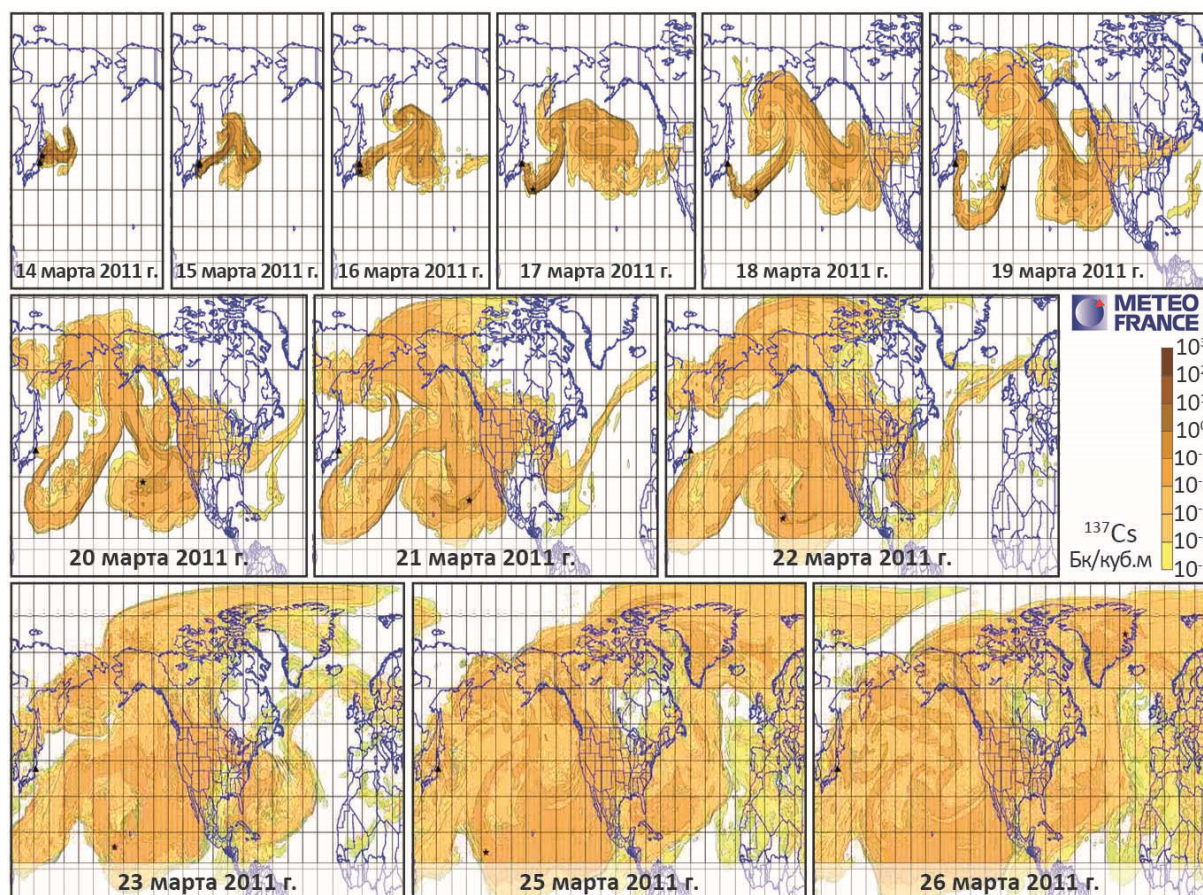


РИС. 4.1. Результаты одной из глобальных моделей рассеивания ^{137}Cs в атмосфере, представленные в исходной цветовой маркировке (подробные сведения см. [180]) (Иллюстрация предоставлена Meteo-France).

Рассеивание в океане прямых выбросов и сбросов в море в районе промплощадки

Большая часть радионуклидов, высвободившихся и сброшенных с промплощадки в море, переместилась на восток с течением Кюросио⁹¹, была перенесена на большие расстояния океаническим водоворотом в северной части Тихого океана⁹² и подверглась сильному растворению в морской воде [181]. Радиоактивность распространилась на большие расстояния в океане и была обнаружена в крайне малых количествах вдалеке от места аварии, в некоторых случаях в элементах океанской биоты, таких как обыкновенный тунец [182].

Точное перемещение радионуклидов в океане трудно оценить только путем измерений, однако для анализа схем рассеивания радионуклидов был использован ряд моделей их переноса в океане. На рисунке 4.2 приведены примеры этих моделей, описывающие рассеивание ^{137}Cs в северной части Тихого океана. На рисунке используется исходная цветовая маркировка, приведенная в тех источниках, из которых взяты иллюстрации.

⁹¹ Течение Кюросио – это направленное на север океаническое течение в западном секторе северной части Тихого океана, проходящее вблизи АЭС "Фукусима-дайити".

⁹² Водоворот северной части Тихого океана – это один из пяти крупных океанических водоворотов, охватывающий большую часть северной части Тихого океана; он циркулирует по часовой стрелке и образован Северным тихоокеанским течением с севера, Калифорнийским течением с востока, Северным экваториальным течением с юга и течением Кюросио с запада.

Как и в случае рассеивания в атмосфере, небольшие изменения в оттенке или насыщенности цвета соответствуют изменению величины концентрации активности на один порядок. Эта иллюстрация приводится для подтверждения вывода о том, что активность в океане заметно уменьшилась по мере удаления от АЭС "Фукусима-дайити". Все модели показывают, что активность ^{137}Cs в океане была весьма низкой.

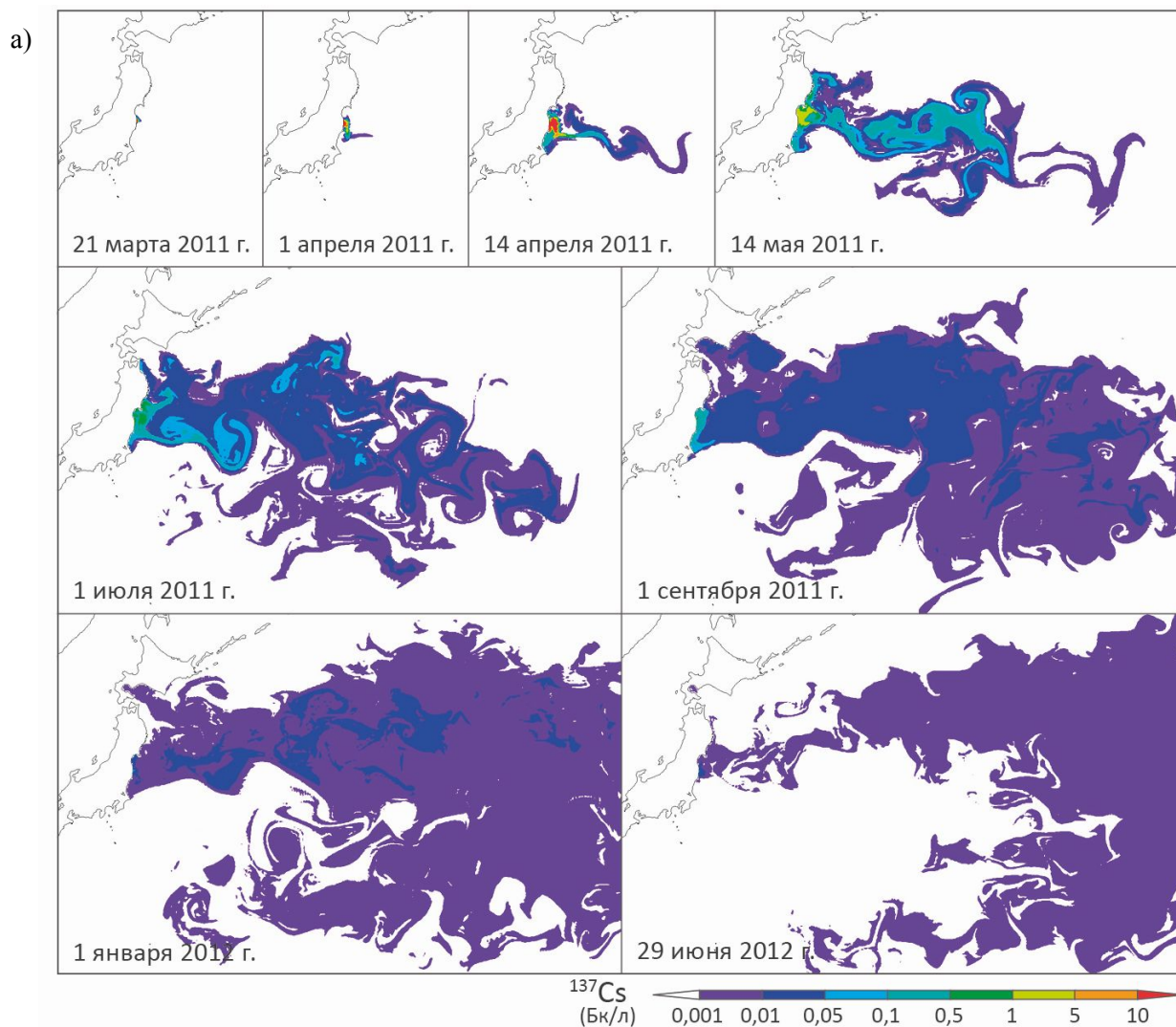


РИС. 4.2. Для оценки концентрации активности ^{137}Cs в морской воде использовались различные модели рассеивания в океане (цветовая маркировка и единицы приведены в соответствии с источниками): а) пример моделирования загрязнения вод в период с 21 марта 2011 года по 29 июня 2012 года [183, 184].

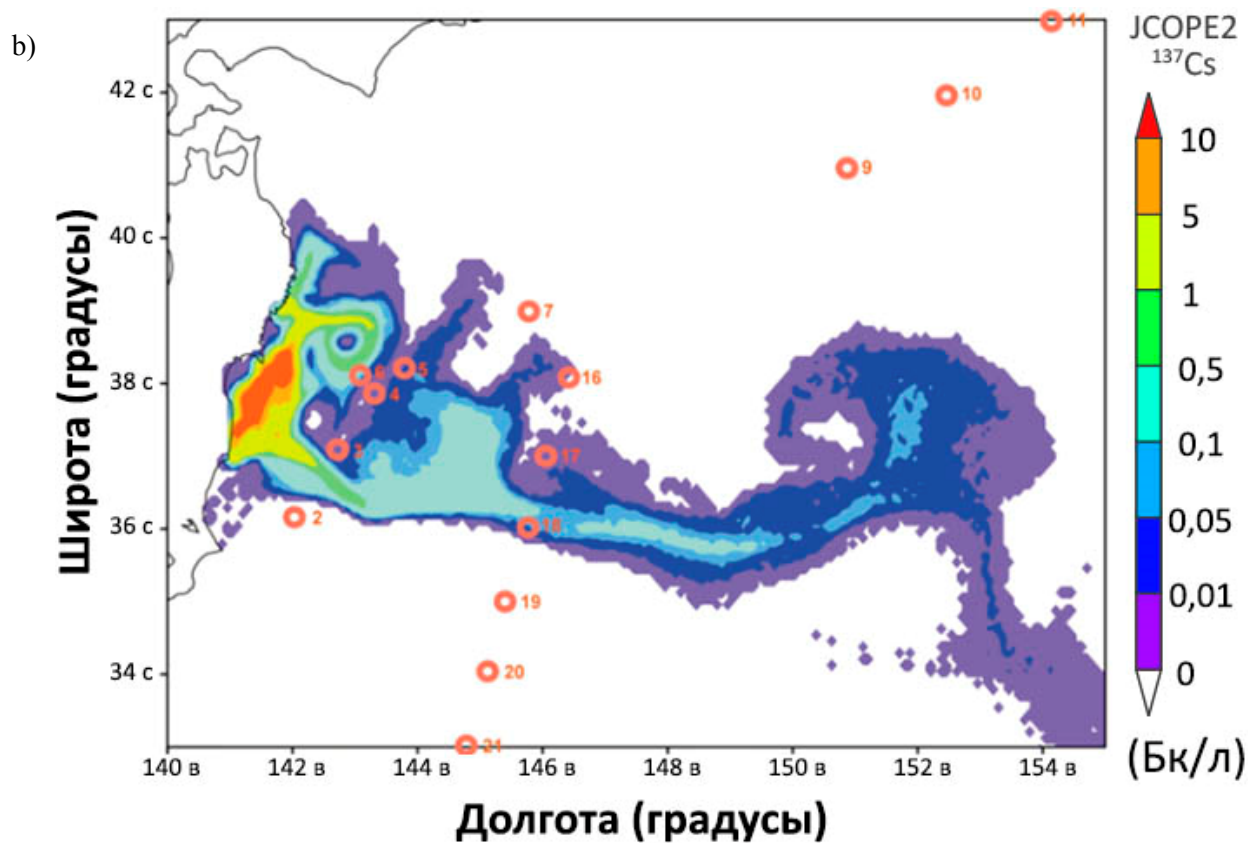


РИС. 4.2. (продолжение) Для оценки концентрации активности ^{137}Cs в морской воде использовались различные модели рассеивания в океане (цветовая маркировка и единицы приведены в соответствии с источниками):
 б) моделирование горизонтального распределения ^{137}Cs в поверхностных водах в период с 14 по 26 апреля 2011 года [185].

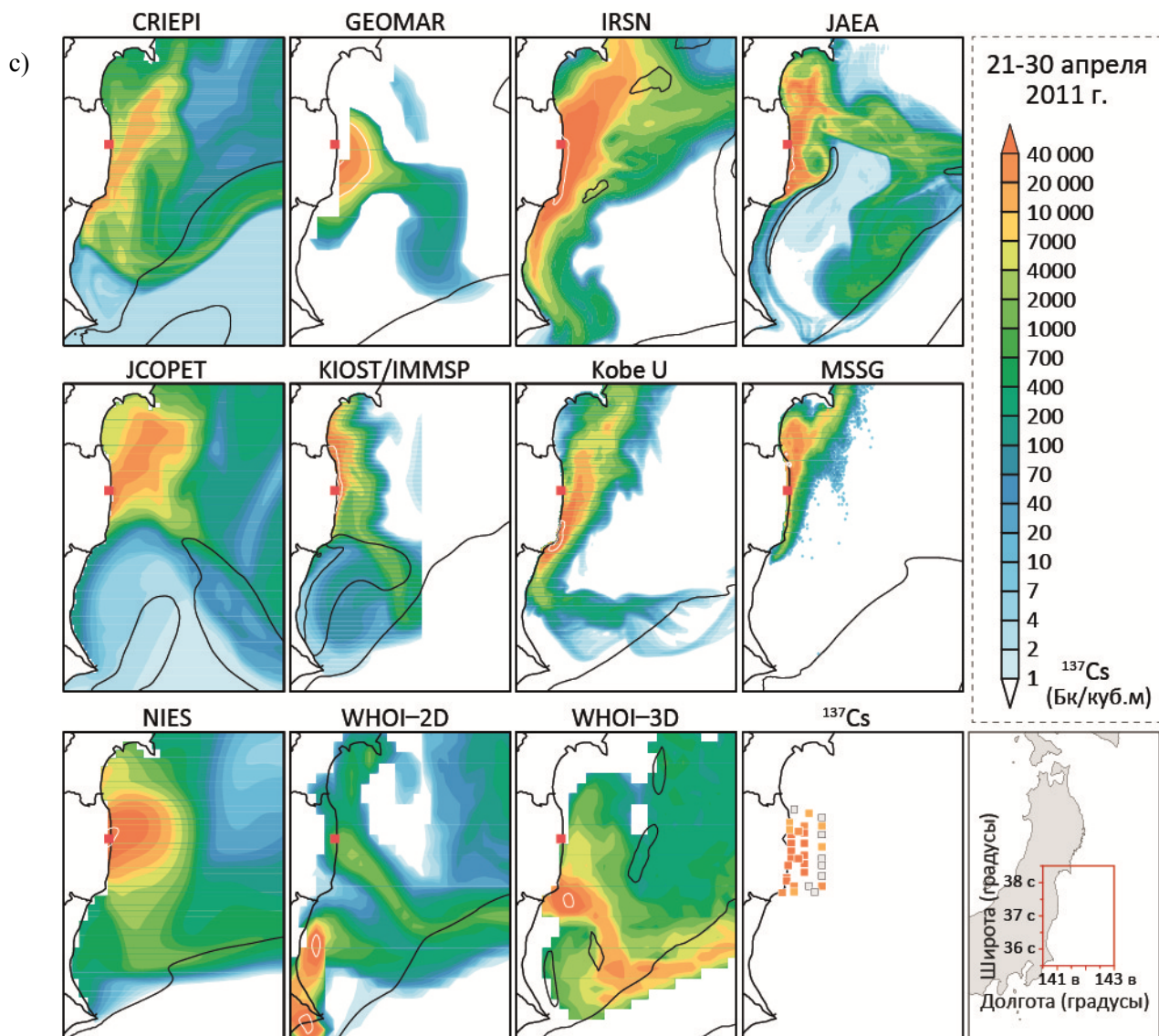


РИС. 4.2. (продолжение) Для оценки концентрации активности ^{137}Cs в морской воде использовались различные модели рассеивания в океане (цветовая маркировка и единицы приведены в соответствии с источниками): с) горизонтальное распределение концентраций ^{137}Cs со средними значениями за десятидневный период с 21 по 30 апреля 2011 года, названия моделей указаны в верхней части каждого рисунка [175].

4.1.3. Осаждение

Активность, осаждающаяся на земной поверхности, рассчитывается как плотность осаднения, выражается как частное от деления активности на единицу площади и обычно измеряется в Бк/м². При попадании на земную поверхность это осаднение обычно называется "(радиоактивным) загрязнением" почвы.

Осаждение в океане

Осаждение ^{137}Cs на поверхность океана изучалось с использованием различных моделей (см. рис. 4.3).

Составление точной оценки количества атмосферных выбросов ^{137}Cs [186], осаждающихся на поверхности океана, представляет собой сложную задачу.

В качестве референтных точек взяты оценочная величина доаварийного осаждения ^{137}Cs за 1970 год, составляющая 290 ± 30 ПБк, и обычный (фоновый) уровень ^{137}Cs в северной части Тихого океана, составляющий приблизительно 69 ПБк [187, 188].

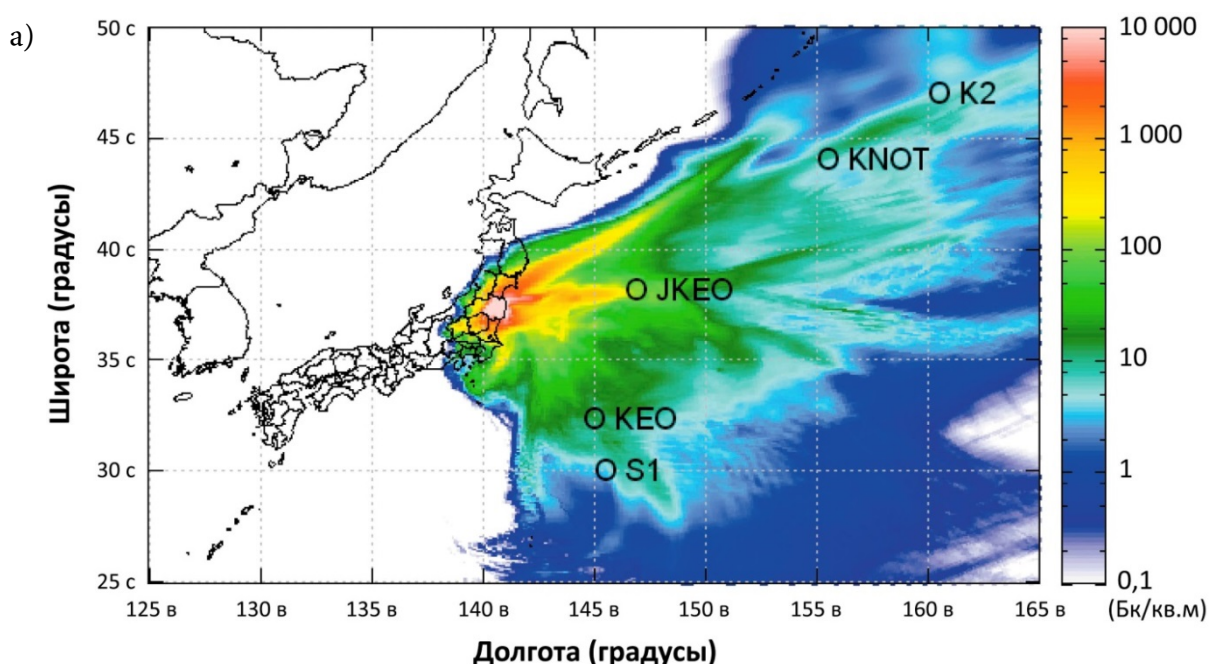


РИС. 4.3. Для оценки плотности океанического осаждения ^{137}Cs применялись различные модели (использовались единицы измерения Бк/м²): а) моделирование совокупных эоловых отложений до 1 апреля 2011 года [185].

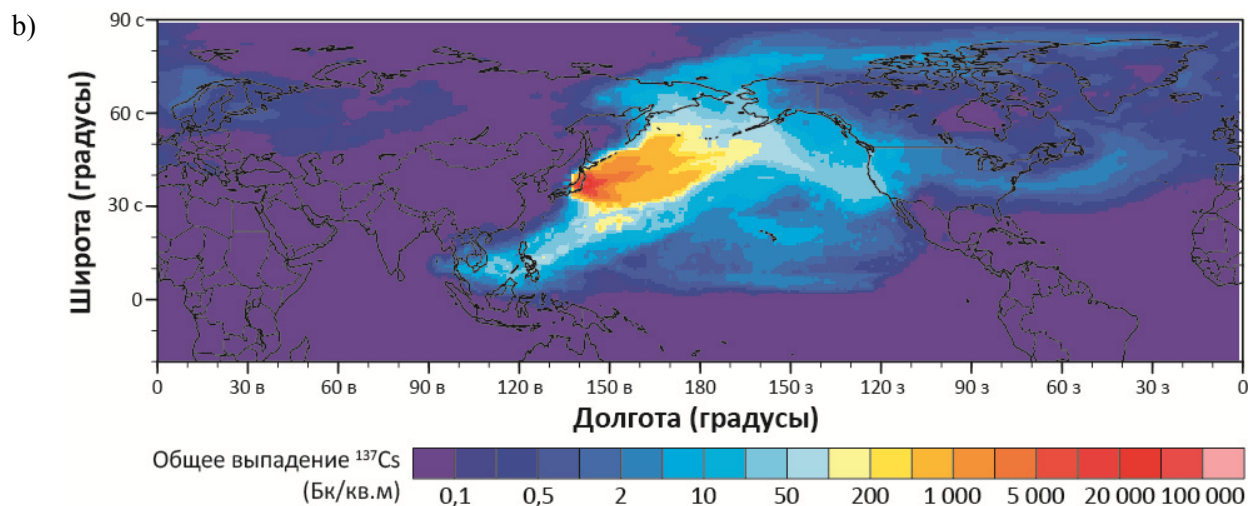


РИС. 4.3. (продолжение) Для оценки плотности океанического осаждения ^{137}Cs применялись различные модели (использовались единицы измерения Бк/м²): б) пример среднего по множеству уровня осаждения ^{137}Cs (11–31 марта 2011 года) [175].

Осаждение в земной среде

Хотя большая часть атмосферных выбросов рассеялась в восточном направлении, выбросы, произошедшие 12, 14 и 15 марта, были снесены ветром в сторону суши, что привело к осаждению на почве соответствующих радионуклидов, в частности ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs . Схемы осаждения сильно различались с учетом влияния дождя, снега и других местных или региональных условий, таких как топографические особенности и режим

землепользования. Другим фактором, который влияет на схему осаждения в земной среде, являются различные физические и химические характеристики иода и цезия.

Наибольший объем осадений долгоживущего ^{137}Cs был обнаружен к северо-западу от АЭС "Фукусима-дайти": общий объем осаждения ^{137}Cs был оценен примерно в 2-3 ПБк [188]. Плотность осаждения со временем снижается за счет физического и экологического распада. Цезий может легко перемещаться в окружающей среде в силу растворимости его соединений. Воздействие погодных явлений, таких как ветер и дождь, а также других природных факторов может снизить содержание цезия в окружающей среде. Все эти эффекты приводят к уменьшению присутствия ^{137}Cs за менее продолжительное время, чем период его полураспада. Во многих пострадавших районах содержание ^{137}Cs было дополнительно уменьшено за счет проведения работ по очистке и реабилитации.

На рис 4.4 представлены подробные карты измерений эквивалента амбиентной дозы в воздухе в районе к северо-западу от места аварии, а также изменения этих показателей со временем (см. также рис. 4.2 (с)).

Присутствие образовавшихся в результате аварии ^{137}Cs в земной среде потенциально может привести к долговременному облучению людей в дополнение к обычному облучению, которое они получают от природного радиоактивного фона. В природе по всему миру присутствует фоновый уровень осаждения ^{137}Cs , который в основном связывают с выпадением осадков, содержащих продукты прежних ядерных испытаний. По оценкам НКДАР ООН в середине 1960-х годов мировой фоновый уровень на широте 40° – 50° в северном полушарии составлял приблизительно 4000 Бк/м^2 ; предполагалось, что минимальный уровень в этот период составлял примерно несколько сотен Бк/м^2 на широте 60° – 70° в южном полушарии [190]. В ряде исследований было проанализировано влияние местных условий и сделан вывод, что накопленное фоновое осаждение может составлять или даже превышать $10\,000 \text{ Бк/м}^2$ (например, см. [187]). С 1960-х годов глобальные уровни осаждения снизились. В 2000 году максимальное значение оценивалось НКДАР ООН примерно в 2000 Бк/м^2 [190].

К северо-западу от АЭС "Фукусима-дайти" были зарегистрированы значительно более высокие уровни осаждения ^{137}Cs . Если рассматривать порядки величин, то уровни в наиболее загрязненных районах были порядка $10\,000\,000 \text{ Бк/м}^2$, а во многих районах эти уровни составили примерно $1\,000\,000 \text{ Бк/м}^2$. Распределение осадений по всей загрязненной территории префектуры Фукусима неоднородно, и уровни непосредственно за пределами наиболее загрязненных территорий в префектуре Фукусима составляли примерно в $10\,000 \text{ Бк/м}^2$. В некоторых других регионах Японии зафиксированы повышенные уровни осаждения, однако уровни, связанные с аварией, по всей Японии в целом ниже уровня около 1000 Бк/м^2 [191, 192].

Максимальный уровень осаждения ^{131}I превысил $3\,000\,000 \text{ Бк/м}^2$ сразу после аварии, однако в связи с коротким периодом полураспада ^{131}I уровни быстро снизились и в настоящее время не поддаются измерению.

4.1.4. Потребительские товары

В подвергшихся воздействию аварии районах такие радионуклиды, как ^{131}I , ^{134}Cs и ^{137}Cs , были обнаружены в некоторых потребительских товарах и других предметах, которые на повседневной основе используются населением в личных или бытовых целях, таких как продукты питания, питьевая вода и некоторые непродовольственные товары.

После аварии 21 марта органами власти Японии были установлены ограничения, призванные не допустить потребления питьевой воды и продуктов питания с содержанием радионуклидов, превышающим временные контрольные величины (см. раздел 3).

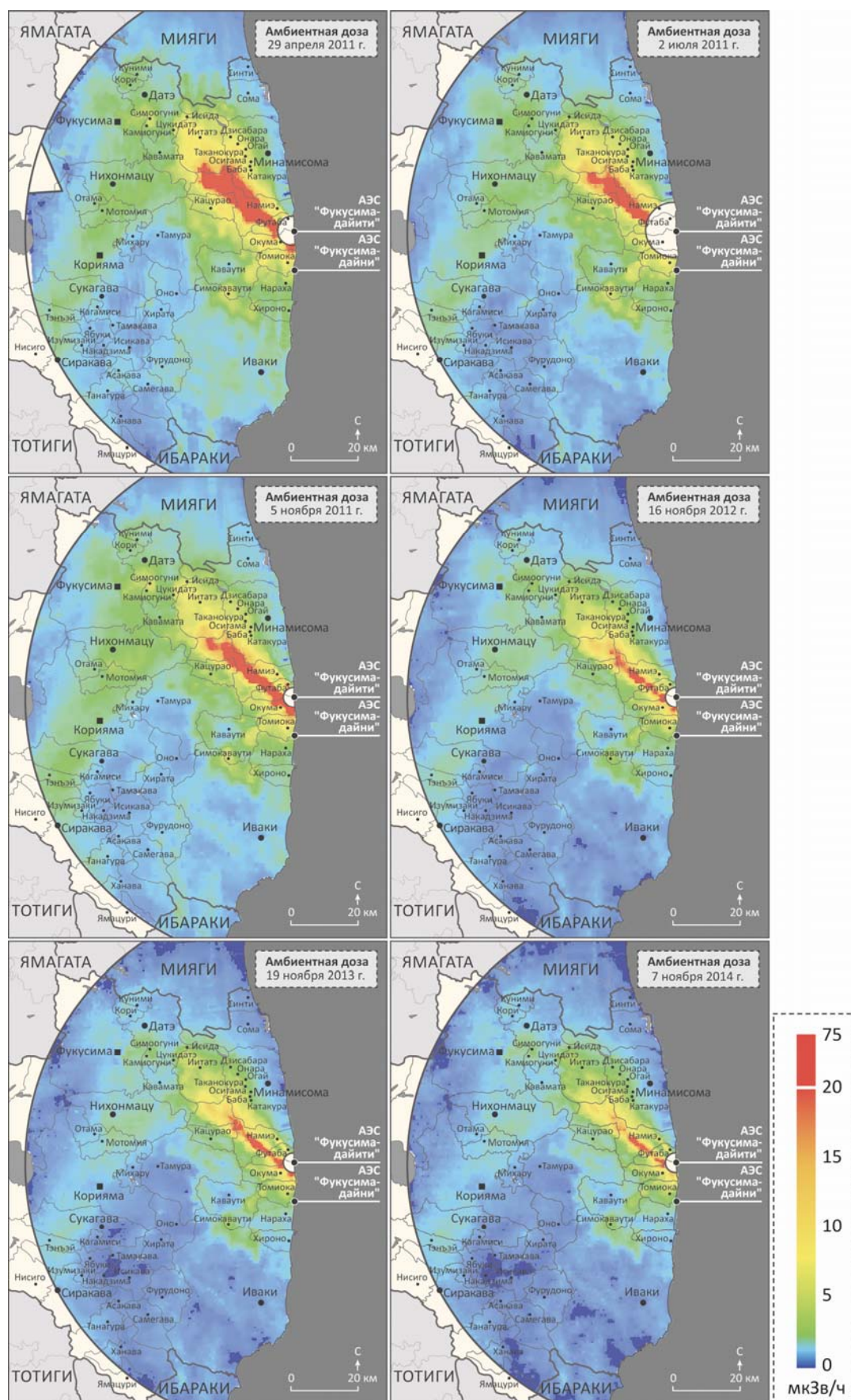
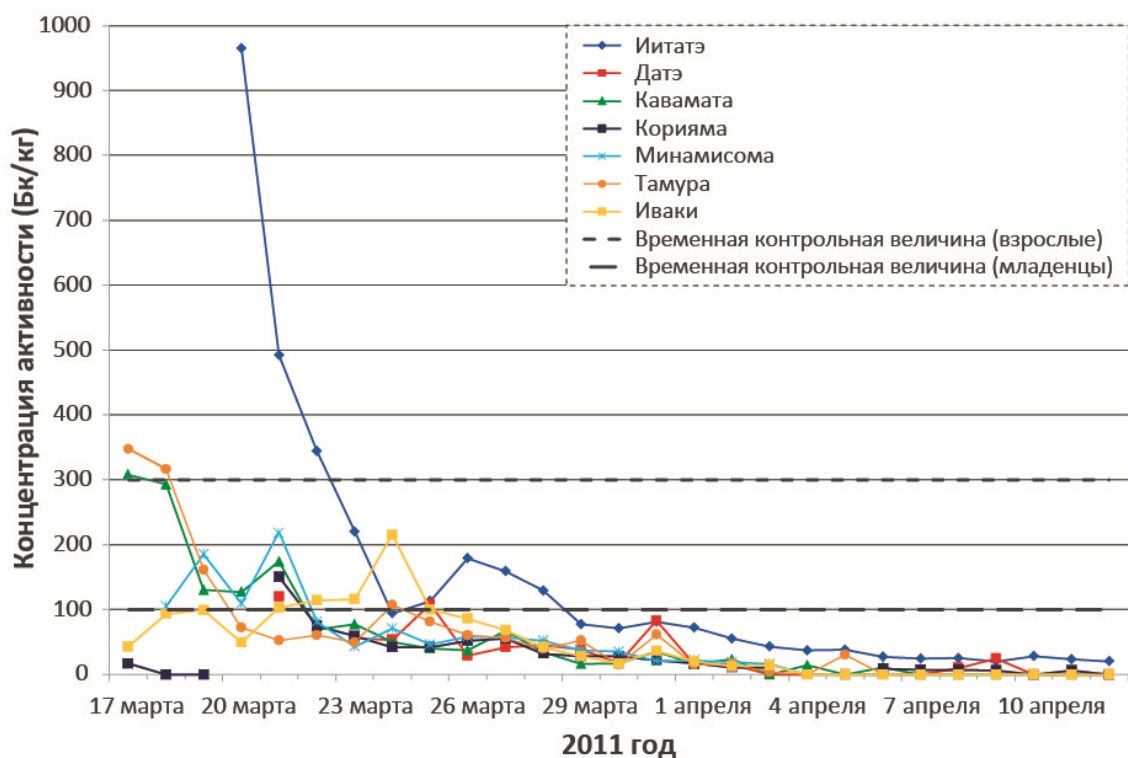


РИС. 4.4. Замеры содержания эквивалента амбиентной дозы в воздухе (в мкЗв/ч), обусловленного осаждением из выбросов, распространившихся в районах к северо-западу от станции [189].

Рекомендуемые значения ВОЗ, касающиеся допустимых уровней содержания радионуклидов в питьевой воде, предназначены для использования в обычных обстоятельствах (см. вставку 4.1). После апреля 2012 года содержание радионуклидов во всей питьевой воде в Японии было ниже рекомендуемых значений ВОЗ [193].

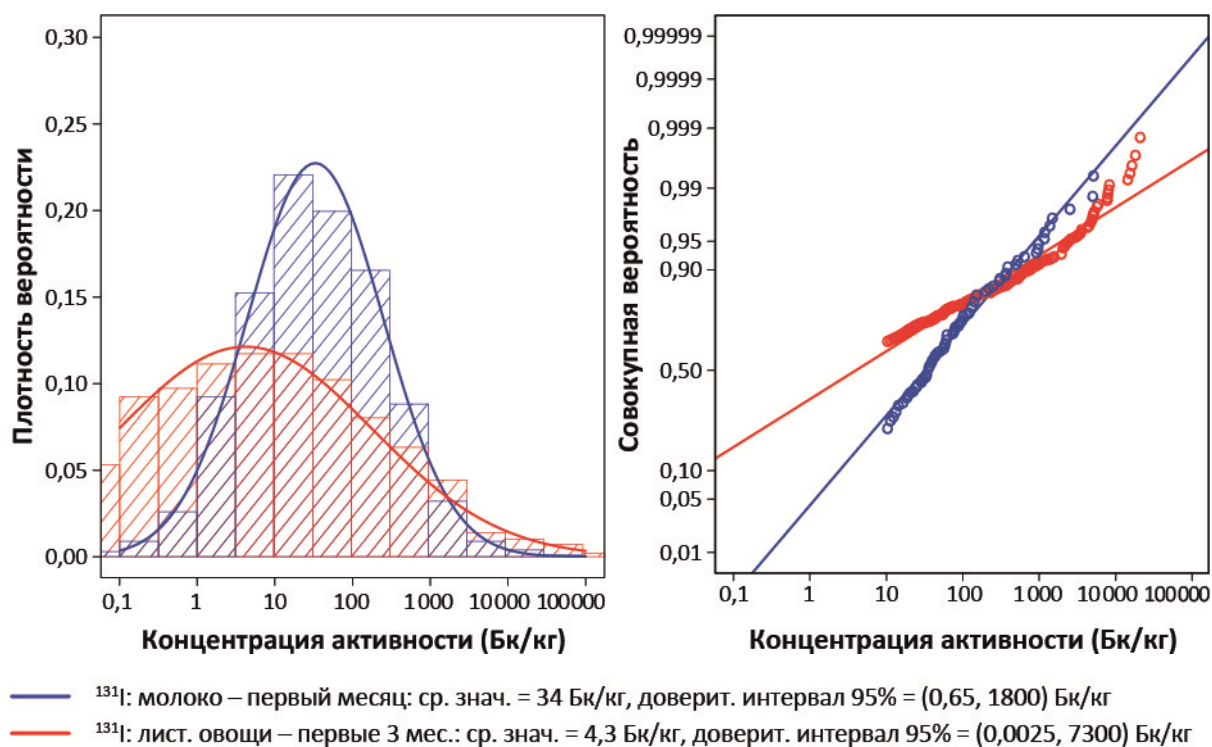
За редкими исключениями уровни радионуклидов в пищевых продуктах, поступающих на рынок, не превышали уровни, установленные стандартами Codex Alimentarius, которые применяются к международной торговле (см. вставку 4.1). В некоторых случаях в природных пищевых продуктах, таких как мясо кабана, дикорастущие грибы и растения, включая папоротниковые, обнаруживались более высокие уровни радионуклидов [194]. В Японии употребление таких продуктов не имеет широкого распространения. Дикорастущие растения употребляются в пищу в основном весной в течение ограниченного периода времени небольшим числом людей. Дикорастущие грибы и растения продаются напрямую фермерами очень редко. Культивируемые грибы поступают на рынок при условии, что уровни концентрации активности в них ниже контрольных значений.

Некоторые примеры концентрации активности в питьевой воде и удельной активности в продуктах питания представлены на рис. 4.5. Динамика изменения зарегистрированных показателей концентрации активности ^{131}I в питьевой воде представлена по разным районам префектуры Фукусима в сравнении с уровнями, которые установлены во временных положениях, выпущенных органами власти Японии [195]. Была проведена оценка логарифмически нормальных функций плотности распределения вероятности и совокупного распределения вероятности, относящихся к удельной активности ^{131}I в молоке в течение первого месяца после аварии и в листовых овощах в течение первых трех месяцев после аварии. Удельная активность ^{134}Cs и ^{137}Cs в грибах (в основном в культивируемых грибах, выращиваемых в открытом грунте) оценивалась в течение 12 месяцев после аварии. Эти оценки, основанные на статистическом анализе собранных ФАО данных [151], свидетельствуют, что с вероятностью 90% рассматриваемые показатели ниже уровня 1000 Бк/кг, предусмотренного в Codex Alimentarius (первоначально органами власти Японии был установлен уровень 500 Бк/кг, затем он был снижен до 100 Бк/кг [193]). Такой консервативный подход привел к возникновению трудностей для производителей и потребителей.



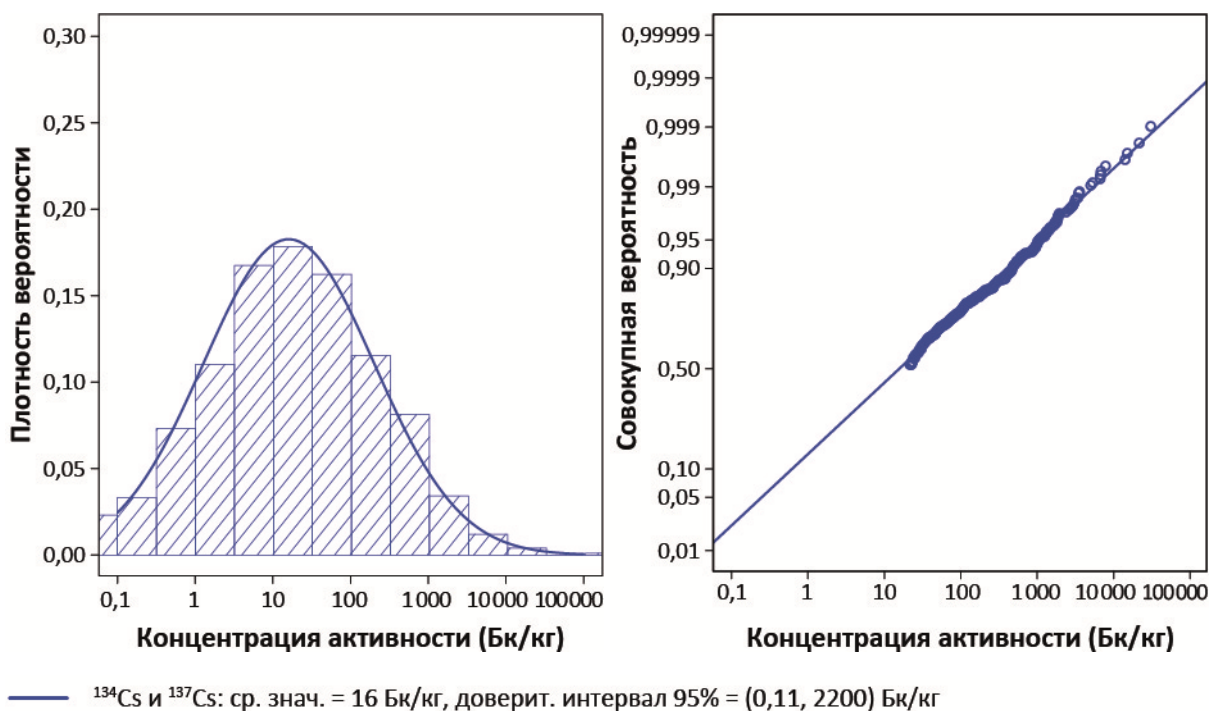
(a)

РИС. 4.5. Некоторые примеры радиоактивности в питьевой воде и продуктах питания: а) динамика изменения зарегистрированной концентрации активности ^{131}I в питьевой воде в различных районах префектуры Фукусима [195].



(b)

РИС. 4.5. (продолжение) Некоторые примеры радиоактивности в питьевой воде и продуктах питания: б) логарифмически нормальное распределение вероятности концентрации активности ^{131}I в молоке в течение первого месяца после аварии и в листовых овощах в течение первых трех месяцев после аварии.



(с)

РИС. 4.5. (продолжение) Некоторые примеры радиоактивности в питьевой воде и продуктах питания: с) логарифмически нормальное распределение вероятности концентрации активности $^{134}\text{Cs} + ^{137}\text{Cs}$ в грибах в течение первых 12 месяцев после аварии [151]. (На рис. 4.5 б) и 4.5 с) представлены нормализованные, идеализированные графики плотности распределения вероятности (см. вставку 4.6) и распределения совокупной вероятности; для определения концентрации активности в продуктах питания применялся номинальный предел обнаружения 10 Бк/кг.).

4.2. ЗАЩИТА ЛЮДЕЙ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

После аварии власти Японии применили консервативные референтные уровни дозы, указанные в последних рекомендациях МКРЗ⁹³. Реализация некоторых защитных мер и действий оказалась сложной задачей для исполнительных органов и тяжелым испытанием для пострадавших.

В более долгосрочном плане в течение послеаварийного периода по окончании аварийной фазы имели место некоторые расхождения между национальными и международными критериями и руководящими принципами, касающимися контроля, установленного в отношении питьевой воды, пищевых продуктов и непродовольственных потребительских товаров.

⁹³ Международные рекомендации по радиационной защите издаются Международной комиссией по радиологической защите (МКРЗ). Эти рекомендации учитываются при подготовке международных норм безопасности, в том числе норм радиационной защиты (Международных основных норм безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (Основных норм безопасности или ОНБ)), которые были разработаны и приняты несколькими международными организациями и выпущены под эгидой МАГАТЭ. ОНБ используются во всем мире при разработке национальных регулирующих положений по защите населения и охране окружающей среды от потенциальных вредных последствий воздействия ионизирующих излучений. В рекомендациях МКРЗ 2007 года предложены пересмотренные основные принципы радиационной защиты. В них вводятся референтные уровни для стратегий защиты. На момент аварии ОНБ находились в стадии пересмотра, проводившегося, в частности, с целью учета данных рекомендаций.

В результате аварии люди подвергались действию радиации вследствие ее распространения различными путями, называемыми путями облучения. Более подробная информация о них приводится во вставке 4.7. Полученные людьми дозы облучения рассчитывались для различных путей облучения путем моделирования и/или измерения параметров окружающей среды и индивидуальных измерений. Эти расчеты и измерения впоследствии использовались для ограничения облучения и обеспечения защиты людей.

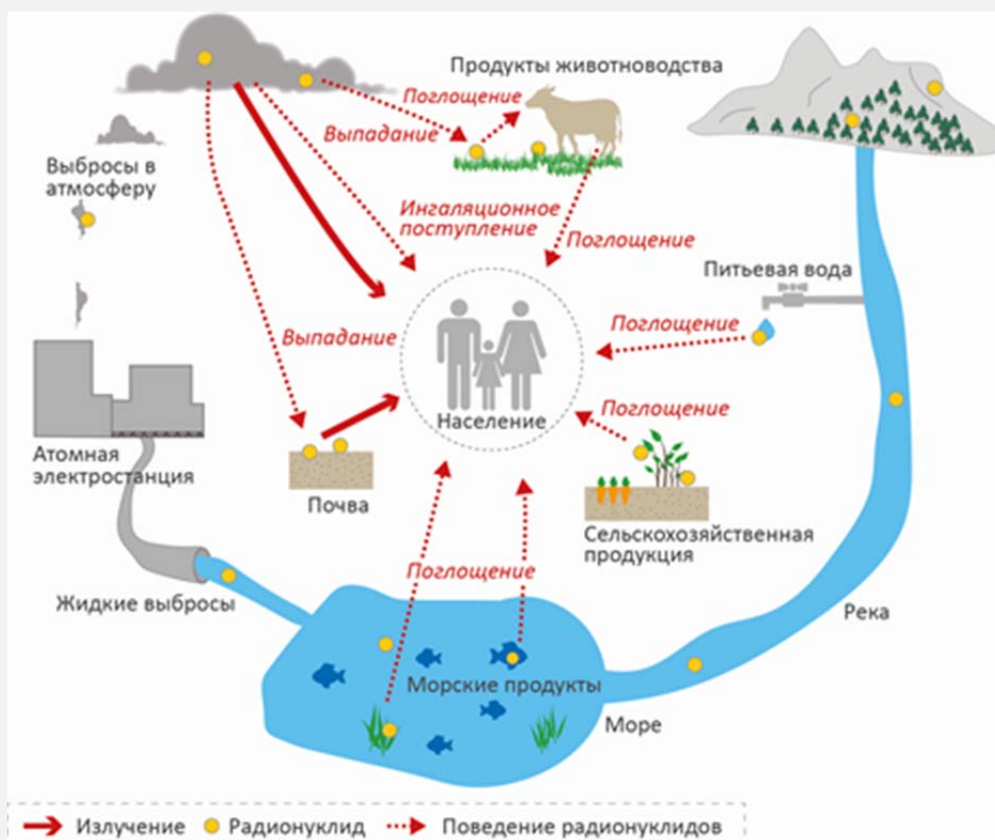
4.2.1 Ограничение облучения населения

Вариант Основных норм безопасности (ОНБ), действовавший на момент аварии, был выпущен в 1996 году [137] и основывался на рекомендациях МКРЗ, опубликованных в 1990 году [196]. Он содержал требования в отношении уровней вмешательства в случае аварии, учитывающие ожидаемые прогнозируемые дозы и потенциальное снижение предотвращаемых доз. На момент аварии ОНБ 1996 года находились в процессе пересмотра с учетом рекомендаций МКРЗ, выпущенных в 2007 году [129] (см. вставку 4.8). В основе этих рекомендаций лежал другой подход к реагированию на аварийные ситуации, в частности была пересмотрена концепция уровней вмешательства, задуманная изначально как комплекс критериев для принятия индивидуальных защитных мер, и введена концепция референтных уровней, которые предполагалось использовать для принятия решений о стратегиях защиты (с тем пониманием, что в нормах безопасности будут введены общие критерии для решения вопроса об индивидуальных защитных мерах).

В рекомендациях МКРЗ 2007 года была предложена основа для концепции референтных уровней и представлены примеры для всех ситуаций облучения, включая аварийные ситуации. В качестве примера, приведенного для планирования наиболее высокой остаточной дозы, полученной в результате радиологической аварийной ситуации, были рекомендованы референтные уровни острого или годового облучения, которые могут находиться в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв. В рекомендациях предлагается также рассмотреть вопрос о снижении доз, причем по мере приближения доз к 100 мЗв следует прилагать все большие усилия с целью снижения доз, предоставлять людям информацию о радиационном риске и необходимых мер по снижению дозы и проводить оценку индивидуальных доз. Регулирующий орган Японии АЯПБ принял решение использовать в качестве референтного уровня для защиты населения нижний уровень, равный 20 мЗв в год.

Вставка 4.7. Пути облучения

Путь облучения представляет собой направление последовательности изменений или событий, задающие траекторию, по которой радиоактивные вещества перемещаются от своего источника через окружающую среду и в конечном итоге взаимодействуют с людьми, которые тем самым получают различные дозы облучения. Пути облучения характеризуются многими особенностями, включая процесс, в результате которого вещества попадают в окружающую среду; виды носителей, в которых вещества перемещаются из источника; место облучения, в котором люди подвергаются воздействию радиации; пути поступления облучения, характеризующие способы воздействия на человека внешнего излучения и возможные пути проникновения радиоактивных веществ в организм человека (например, с пищей, водой, через кожные покровы); и группы населения, которые могут подвергнуться облучению. На рисунке ниже в упрощенном виде показаны пути облучения в результате аварии на АЭС «Фукусима-дайити».



Защита детей

Защита детей в районах, пострадавших в результате аварии, была вопросом особой важности для их родителей. Для целей обеспечения защиты в нынешних рекомендациях МКРЗ используется скорректированный с учетом вреда коэффициент риска для всего населения, включая детей, который превышает (приблизительно на 30%) коэффициент риска, используемый для взрослого населения. Эта разница отражена в международных рекомендациях и нормах, касающихся радиационной защиты.

Эффект от реализуемых мер и действий по радиационной защите населения

Для поддержки мер, направленных на ограничение облучения населения в период после ядерной или радиологической аварийной ситуации, большое значение имеет наличие надлежащей инфраструктуры коммунальных услуг [199]. Ликвидировать последствия землетрясения, цунами и аварии приходилось в условиях разрушенной местной инфраструктуры.

В результате землетрясения и цунами были разрушены или повреждены многие сооружения общественного пользования, жилые и коммерческие здания, стали недоступны телефонная связь и интернет, прекратились подача электроэнергии, газа и питьевой воды, поставки продовольствия, бензина и бытового топлива, прекратилась работа общественного транспорта. Наружная температура была низкой, шел дождь со снегом, и отопление работало плохо. В таких условиях многие жители не могли находиться в укрытиях в течение длительного времени без теплой и верхней одежды.

Эти тяжелые условия сказались на принятии защитных мер, необходимых для защиты людей от радиационного облучения. Так, было невозможно провести санитарную обработку людей, размещенных в укрытиях, с помощью смывания радиоактивных веществ, поскольку в большинстве укрытий потребление воды рационировалось и ее запасы резервировались для питья.

Вставка 4.8. Пересмотр Основных норм безопасности, действовавших на момент аварии: референтные уровни

Действовавшими на момент аварии международными нормами безопасности в области радиационной защиты были Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения 1996 года, или ОНБ 1996 года [137]. Эти нормы требуют ограничения до 1 мЗв в год дополнительной эффективной дозы, которую отдельные лица могут получить в ходе запланированной и регулируемой практической деятельности (в особых обстоятельствах может применяться эффективная доза до 5 мЗв при условии, что средняя эффективная доза в последующие пять лет не будет превышать 1 мЗв в год). В ОНБ 1996 года подчеркивается, что эти пределы дозы не применимы к решениям относительно необходимости и методов вмешательства в случае аварий, когда следует учитывать прогнозируемые дозы и потенциальное снижение предотвращаемых доз и конечных остаточных доз. Требования ОНБ 1996 года, непосредственно касающиеся аварийных ситуаций, предусматривают общие уровни вмешательства, при которых в условиях аварийной ситуации обязательно вмешательство, например, размещение населения в укрытиях, эвакуация и блокирование щитовидной железы, и общие уровни действий в отношении пищевых продуктов.

В дополнение к этому, в 2002 году МАГАТЭ выпустило нормы безопасности, содержащие конкретные требования по обеспечению готовности и реагированию в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации [69], в том числе критерии дозы для принятия таких защитных мер, как размещение населения в укрытиях, эвакуация и йодное блокирование щитовидной железы. Эти нормы вводили требования к надлежащему уровню готовности и реагирования в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации с целью сведения к минимуму последствий аварийной ситуации при ее возникновении (более подробная информация представлена в разделе 3).

Вставка 4.8. Пересмотр Основных норм безопасности, действовавших на момент аварии: референтные уровни (продолжение)

На момент аварии ОНБ 1996 года пересматривались, частично в свете новых общих рекомендаций МКРЗ, выпущенных в 2007 году [129]. Непосредственно перед аварией МКРЗ опубликовала отдельные рекомендации по применению ее новых рекомендаций при обеспечении защиты людей в ситуациях аварийного облучения [127] и лиц, проживающих на территориях, подвергшихся длительному загрязнению в результате ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации [197].

В рекомендациях МКРЗ 2007 года был пересмотрен подход к ситуациям аварийного облучения и введено понятие референтного уровня, используемое для разработки стратегий защиты. Рекомендуемый референтный уровень представлял собой эффективную дозу (острого или годового облучения), которая могла находиться в диапазоне от 20 мЗв до 100 мЗв. Эта величина должна была использоваться в общих критериях принятия индивидуальных защитных мер в нестандартных, а зачастую и экстремальных ситуациях, когда действия, предпринимаемые в целях снижения облучения, наносят определенный ущерб, при том понимании, что эффективная доза, приближающаяся к 100 мЗв, практически во всех случаях оправдывает принятие защитных мер. Для этапов послеаварийной реабилитации референтный уровень может находиться в диапазоне от 1 мЗв до 20 мЗв. Далее, в новых рекомендациях подчеркивается, что выбранная величина референтного уровня будет зависеть от текущих обстоятельств рассматриваемой ситуации облучения.

Этот новый подход был закреплен в пересмотренных ОНБ, выпущенных в 2014 году в качестве публикации "Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards" ("Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности") (IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3) [198].

Принятие некоторых защитных мер было сопряжено со значительными трудностями для властей и стало крайне тяжелым испытанием для пострадавшего населения [200, 201]. Размещение в укрытиях и эвакуация имели особо негативные последствия приблизительно для 160 000 человек, которые оказались оторванными от своих общин и имели лишь ограниченный доступ к предметам первой необходимости (рис. 4.6 а)). В конечном итоге люди были переселены, однако их жизненные условия оставались далеки от нормальных. Возможности трудоустройства и участия в общественной жизни были ограничены. Их дальнейшие перспективы оставались неопределенными, и планировать что-либо на будущее было крайне трудно.



(a)



(b)

РИС.4.6.В результате первоначальной эвакуации укрытия были переполнены. а) 22 марта 2011 года в эвакуационном центре представитель руководства ТЕПКО приносит эвакуированным извинения (фотография предоставлена Коичи Накамурой/архив фотографий "Ассошиэйтед пресс"/picturedesk.com); б) условия жизни переселенцев были далеки от нормальных (фотография предоставлена Юдзиро Куродой/Медицинский университет Фукусимы).

Лица, уже пострадавшие от последствий землетрясения и цунами, испытали дополнительный физический и психологический стресс от размещения в укрытиях, эвакуации и переселения. Введение ограничений на товары широкого потребления имело важное значение и было необходимым, однако оно нанесло экономический ущерб местным производителям, повредило их репутации или общественному имиджу.

4.2.2 Ограничение профессионального облучения, в том числе облучения аварийных работников

Япония является стороной Конвенции 1960 года о защите от радиации (№ 115), принятой под эгидой МОТ [164]. Японские положения о профессиональном облучении соответствовали международным рекомендациям и нормам в области защиты при профессиональном облучении. Данные положения устанавливают в качестве предела дозы при профессиональном облучении среднюю эффективную дозу 20 мЗв в год на протяжении пяти лет или 50 мЗв за любой отдельный год [137]. Для аварийных работников, т. е. «работников, которые могут подвергнуться облучению, превышающему пределы дозы профессионального облучения, при выполнении действий, направленных на смягчение последствия аварийной ситуации для здоровья человека и безопасности, качества жизни, собственности и окружающей среды» [48], действовал критерий, ограничивающий эффективную дозу до 100 мЗв. В отношении аварийных работников, находившихся в радиусе 30 км от АЭС «Фукусима-дайти», японские компетентные органы вынуждены были временно, до 16 декабря 2011 года, повысить этот критерий до предела дозы, равного 250 мЗв (см. раздел 3.2).

Предел дозы профессионального облучения в «особых обстоятельствах», предусмотренный международными нормами на момент аварии (ОНБ 1996 года), составлял 100 мЗв [137]. Верхним пределом референтных уровней, рекомендованных МКРЗ на международном уровне, также являлось значение 100 мЗв [129], хотя в рекомендациях отмечается, что в исключительных случаях добровольные работники могут осознанно получать дозы, превышающие этот уровень, ради спасения человеческих жизней, для предотвращения тяжелых последствий для здоровья, вызванных воздействием излучения, или недопущения возникновения катастрофических условий. Устанавливая значение 250 мЗв, японские компетентные органы учитывали предыдущие рекомендации МКРЗ [196, 202] и требования норм безопасности МАГАТЭ, в которых для лиц, занимающихся ликвидацией последствий аварии, или для работ по ликвидации последствий ядерной аварии, направленных на недопущение дальнейшего ухудшения ситуации, предлагалось использовать рекомендуемое значение, равное 500 мЗв. Пересмотренный предел дозы для аварийных работников был установлен чрезвычайным постановлением министерства здравоохранения, труда и социального обеспечения (МЗТСО) через три дня после того, как правительство объявило аварийную ситуацию (14 марта 2011 года). Это чрезвычайное постановление было отменено 16 декабря 2011 года [203].

4.3. РАДИАЦИОННОЕ ОБЛУЧЕНИЕ

В краткосрочном плане наиболее значительными факторами облучения населения были: 1) внешнее облучение радионуклидами, находившимися в шлейфе и выпавшими на почву; 2) внутреннее облучение щитовидной железы в результате поступления ^{131}I и внутреннее облучение других органов и тканей главным образом в результате поступления ^{134}Cs и ^{137}Cs . В долгосрочной перспективе важнейшим фактором облучения населения является внешнее облучение в результате осадения ^{137}Cs .

В ранних оценках доз облучения использовались данные мониторинга окружающей среды и модели оценки доз, которые привели к определенному завышению оценок. Для оценок в настоящем докладе были, кроме того, использованы данные индивидуального мониторинга, представленные местными органами, чтобы иметь более надежную информацию о фактически полученных индивидуальных дозах и их распределении. Эти оценки показывают, что полученные жителями эффективные дозы были низкими и в целом сопоставимыми с диапазоном эффективных доз, получаемых в результате воздействия глобальных уровней естественного фоновое излучения.

После ядерной аварии, связанной с выбросом ^{131}I и его поступлением в организм детей, особую озабоченность вызывает поглощение этого радионуклида щитовидной железой и последующее получение ею доз облучения. Эквивалентные дозы облучения щитовидной железы, зафиксированные после аварии на АЭС "Фукусима-дайити" у детей, оказались невысокими, поскольку поступление в их организм ^{131}I было ограниченным, отчасти благодаря введенным ограничениям на потребление питьевой воды и пищевых продуктов, включая листовые овощи и свежее молоко. В отношении поступления иода непосредственно после аварии существует неопределенность из-за недостаточного количества надежных данных индивидуального радиационного мониторинга за этот период.

По состоянию на декабрь 2011 года в противоаварийных операциях было задействовано около 23 000 аварийных работников. Эффективные дозы, полученные большинством из них, были ниже пределов профессиональных доз, установленных в Японии. Из этого числа у 174 человек было отмечено превышение первоначального критерия для аварийных работников, а у шести аварийных работников был превышен пересмотренный критерий эффективной дозы в случае аварии, временно установленный японскими властями. Определенные недостатки отмечены в плане выполнения требований радиационной защиты при профессиональном облучении, в том числе в процессе мониторинга и фиксации доз облучения аварийных работников на раннем этапе, а также в плане обеспеченности средствами защиты и их использования и в организации связанной с этим подготовки.

Для дозовых оценок в настоящем докладе были использованы применяемые ВОЗ и НКДАР ООН международные дозовые оценки, которые изложены во вставке 4.9. В докладе также использованы имеющиеся другие данные, особенно данные, полученные в результате медицинского обследования населения префектуры Фукусима, и данные непосредственных измерений дозы у людей и облучения в окружающей среде. Эти данные были представлены экспертами, ведомствами, местными властями и правительством Японии, а также ТЕПКО и были подвергнуты статистическому анализу.

Различные оценки не совпадали, поскольку были осуществлены в разное время с использованием разных методологий. Оценки ВОЗ, как правило, выше оценок НКДАР ООН, однако это обусловлено главным образом тем, что они представляли собой первые прогнозы доз, полученные на основе весьма ограниченного объема данных после аварии. Подготовленные ВОЗ и НКДАР ООН оценки доз для жителей отражали ограниченное наличие непосредственных радиационных измерений индивидуальных доз, полученных населением, и были осуществлены главным образом с использованием моделей дозовых оценок на основе состояния окружающей среды. Хотя ввиду расхождений трудно произвести детальное сравнение, приведенные в настоящем докладе оценки и оценки ВОЗ и НКДАР ООН в значительной мере совпадают в демонстрации того, что показатели доз в целом были ниже контрольных уровней, установленных в международных рекомендациях и стандартах.

Вставка 4.9. Оценки доз ВОЗ в 2012 году [146] и НКДАР ООН в 2014 году [148]

В 2012 году Всемирная организация здравоохранения опубликовала предварительный анализ радиационного облучения в результате аварии, в котором была дана первоначальная оценка доз облучения типичных представителей населения с использованием методов, применявшихся к данным, опубликованным государственными учреждениями и собранными в период до сентября 2011 года. На тот момент данных, необходимых для всесторонней оценки, было либо недостаточно, либо их не было совсем. Был использован ряд осторожных допущений, в результате чего оценка некоторых доз оказалась завышена. Например, осторожные допущения были использованы для сведения к минимуму возможности недооценки потенциальных рисков для здоровья применительно к защитным мерам и потреблению пищевых продуктов. Тем не менее оценка показала, что общая эффективная доза, в основном полученная жителями в двух зонах относительно высокого облучения в префектуре Фукусима в первый год после аварии, была в пределах 10-50 мЗв. В этих наиболее пострадавших зонах главным слагающим фактором эффективной дозы было внешнее облучение. В остальной части префектуры Фукусима эффективная доза, согласно оценкам, находилась в пределах 1-10 мЗв. Эффективные дозы на большей части территории Японии находились в пределах 0,1-1 мЗв, а в остальной части мира все эффективные дозы были ниже 0,01 мЗв и как правило значительно ниже этого уровня.

В 2014 году Научный комитет ООН по действию атомной радиации (НКДАР ООН) опубликовал доклад об аварии, в котором была дана оценка доз, полученных работниками и жителями. Оценка внешних эффективных доз, полученных жителями, была основана на имеющейся информации о плотности отложений ^{137}Cs в различных районах, выраженной как функция времени, и предполагаемой зоне и траектории перемещения населения. В оценках НКДАР ООН указывалось, что в эвакуированных районах с самыми высокими средними показателями эффективная доза, полученная взрослыми до и во время эвакуации, в среднем была менее 10 мЗв и составляла примерно половину этого показателя у тех, кто эвакуировался ранее. Живущие в городе Фукусима взрослые предположительно получили в среднем эффективную дозу порядка 4 мЗв в течение первого года после аварии; эффективные дозы для годовалых младенцев предположительно были в два раза выше.

Проживавшие в других районах префектуры Фукусима и в соседних префектурах предположительно получили сравнимые или более низкие эффективные дозы; в других районах Японии полученные эффективные дозы предположительно были еще ниже. Согласно оценкам НКДАР ООН, пожизненные эффективные дозы в связи с аварией, которые в среднем могут быть получены теми, кто продолжает проживать в префектуре Фукусима, составят немногим более 10 мЗв. Дозы радиационного облучения в соседних государствах и остальной части мира, полученные в результате аварии, были значительно ниже доз, полученных в Японии; эффективные дозы составляли менее 0,01 мЗв. Однако НКДАР ООН подчеркнул, что у разных жителей величина этого показателя значительно варьировалась в зависимости от места проживания и того, какие пищевые продукты они потребляли.

Примечание. Как указывается во вставке 4.3, глобальные дозы естественного фоновое облучения, приведенные НКДАР ООН, представляют собой среднегодовую дозу в размере 2,4 мЗв (которая предполагает общую кумулятивную пожизненную дозу около 170 мЗв) при обычном диапазоне 1-13 мЗв, тогда как значительные группы населения получают дозы естественного фоновое облучения на уровне 10-20 мЗв.

4.3.1 Облучение населения

Внешнее облучение

Первоначальный подход к оценке эффективных доз, полученных населением в результате внешнего облучения, был основан главным образом на данных измерений параметров окружающей среды в виде эквивалента амбиентной дозы и на расчетах и анализе места нахождения и поведения людей. Используемые данные включали обширные измерения эквивалента амбиентной дозы, в том числе полученные с использованием контрольно-измерительных приборов, установленных на автомобилях.

НИРН подготовил оценку эффективных доз, полученных в результате внешнего облучения респондентами медицинского обследования населения префектуры Фукусима в течение четырех месяцев после ядерной аварии [204]. Оценки были основаны на заявленном перемещении людей и соответствующих уровнях облучения в местных условиях.

В первые четыре месяца был опубликован ряд оценок индивидуальных эффективных доз, полученных в результате внешнего облучения [205–208]. Например в районе Сосо⁹⁴ (который включает «зону эвакуации» и «район плановой эвакуации») эти дозы были ниже 5 мЗв у 98,7% жителей (при максимальной эффективной дозе 25 мЗв). В префектуре Фукусима в целом, включая зону эвакуации и район плановой эвакуации, дозы составляли менее 3 мЗв у 99,4% участвовавших в обследовании жителей [208].

В настоящем докладе был проведен статистический анализ индивидуальных эффективных доз, полученных в результате внешнего облучения в различных населенных пунктах префектуры Фукусима и рассчитанных НИРН с использованием данных медицинского обследования населения префектуры Фукусима за период с 11 марта по 11 июля 2011 года (эффективная доза, полученная в результате внешнего облучения от естественного фона была исключена). Результаты этого анализа представлены на рис. 4.7 для населенных пунктов, находящихся в зоне в радиусе 20 км, и для населенных пунктов, находящихся за пределами этой зоны. Этот показатель свидетельствует о том, что в результате ранней эвакуации этой зоны дозы внешнего облучения в первые четыре месяца у жителей, находившихся в 20-километровой зоне, были в среднем ниже, чем у жителей, находившихся за пределами этой зоны. Результаты, полученные в пределах 20-километровой зоны, отражают более широкий диапазон распределения, чем результаты, полученные в других пунктах за пределами этой зоны. Это обусловлено тем, что жители одной общины эвакуировались в разные пункты и зачастую продолжали передвижения, в результате чего полученные дозы оказались разными. Эта сложная структура была смоделирована НИРН с использованием 18 эвакуационных сценариев.

Существуют факторы неопределенности, связанные с использованием интервью с жителями, экологическими измерениями и моделями оценки доз, применяемых для установления доз, полученных населением. В этой связи для надежной реконструкции доз излучения принципиально важное значение имеет индивидуальный радиационный мониторинг.

Данные индивидуального мониторинга с использованием индивидуальных дозиметров позволили получить более определенную картину индивидуальных доз, полученных в результате внешнего облучения. Когда появились данные индивидуального мониторинга, они позволили сравнить два разных подхода, а именно использование допущений относительно привычек и моделей поведения людей для оценки полученной эффективной дозы и мониторинг полученного фактического эквивалента индивидуальной дозы⁹⁵.

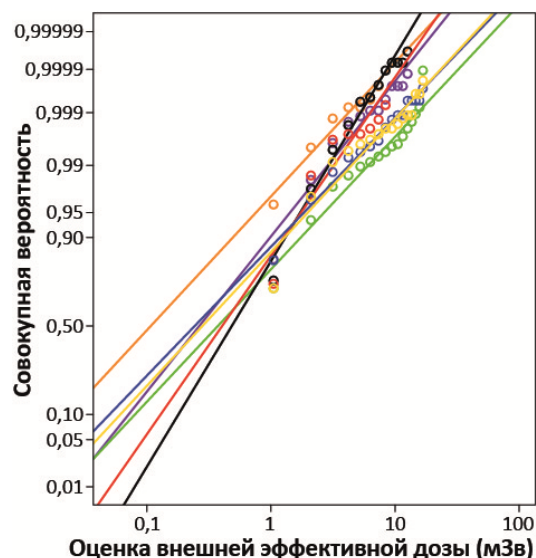
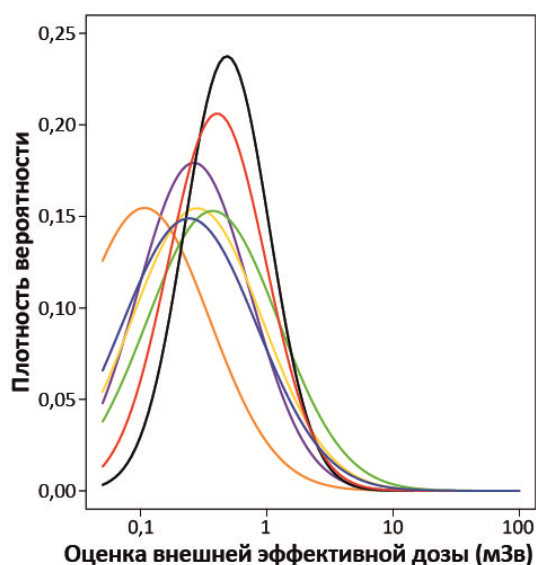
⁹⁴ Район в восточной части префектуры Фукусима, в который входит город Соса, Минамисоса, Харано, Нараха, Томиока, Каваучи, Окума, Футаба, Кацурао, Намизэ, Синти, Иитаэ, причем многие из них находились в пределах установленной «зоны эвакуации» или «района плановой эвакуации».

⁹⁵ Величины, используемые для индивидуального мониторинга, эквивалента индивидуальной дозы, есть приближенное значение величины эффективной дозы.

Результаты показали, что фактически полученные дозы, измеренные в порядке индивидуального мониторинга, были в целом ниже оценок доз, полученных с помощью вопросников и моделирования. На рис. 4.8 приведен пример такого сравнения, которое было проделано местными органами. Он показывает, что смоделированные дозы, как правило, завышены по сравнению с фактически полученными дозами (это также было отмечено в ходе оценки доз после чернобыльской аварии [169]).

В большом массиве информации, которую Япония представила МАГАТЭ, содержались данные об эквивалентах индивидуальной дозы и результаты радиометрии всего тела.

Эта информация фиксировалась в разное время, в течение разных периодов, с использованием разных методов, и измерения производились во многих, однако не во всех пострадавших районах. Общим же для этих данных является то, что все эквиваленты индивидуальных доз имеют низкие значения (оценки ожидаемых эффективных доз на всем теле ничтожно малы, см. ниже), в результате чего уровни эффективных доз оказались сопоставимы с уровнями эффективной дозы при обычном фоне.



- Футаба: ср. знач. = 0,24 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,022, 2,7) мЗв
- Каваути: ср. знач. = 0,4 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,07, 2,3) мЗв
- Минамисома: ср. знач. = 0,48 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,11, 2,2) мЗв
- Намиэ: ср. знач. = 0,37 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,035, 3,9) мЗв
- Окума: ср. знач. = 0,28 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,027, 2,9) мЗв
- Томиока: ср. знач. = 0,26 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,036, 2) мЗв
- Нараха: ср. знач. = 0,11 мЗв, доверит. интервал 95% = (0,01, 1,1) мЗв

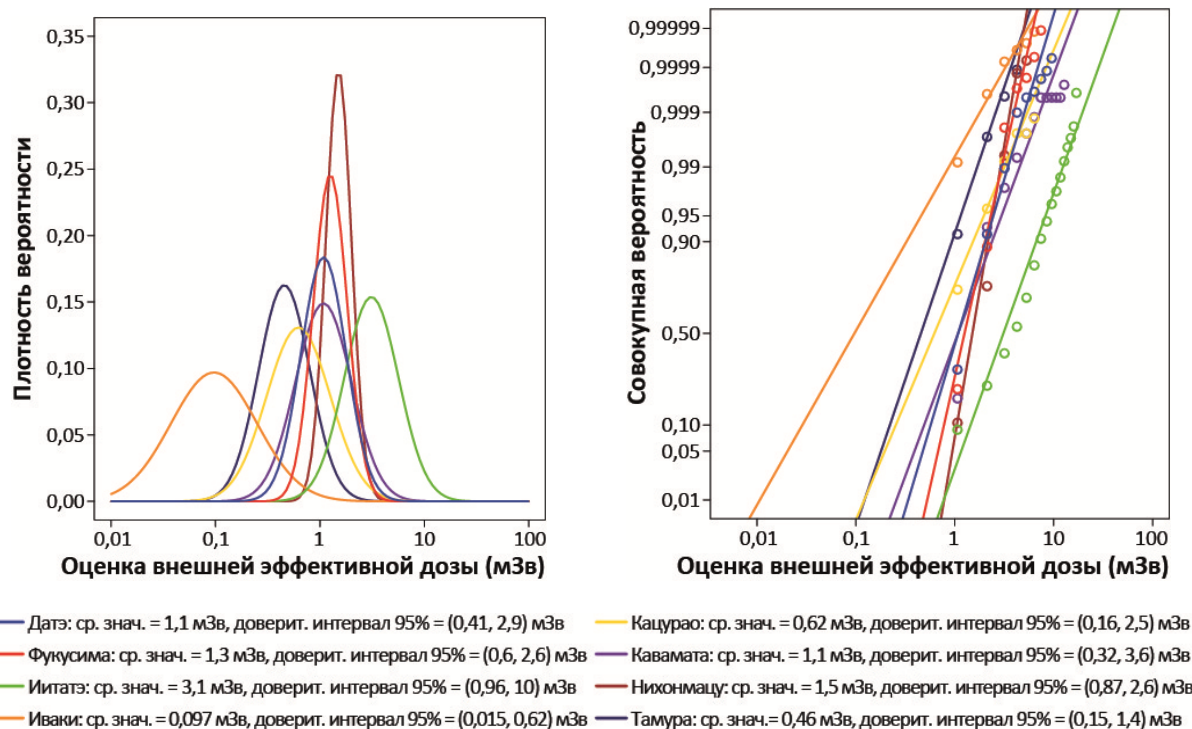


РИС. 4.7. Логарифмически нормальные нормализованные идеализированные плотность распределения и совокупное распределение вероятностей оценок внешних эффективных доз в разных городах, поселках и деревнях префектуры Фукусима за четыре месяца после аварии на основе данных медицинского обследования населения префектуры Фукусима. На верхнем рисунке представлен анализ для пунктов, находящихся в радиусе 20 км (см. раздел 3), а на нижнем – для пунктов за пределами этого района. В пояснениях под графиками указаны средние значения доз и доверительный интервал 95% для этих пунктов. В первоначальном сводке данных все дозы менее 1 мЗв были собраны в интервале 1 мЗв.

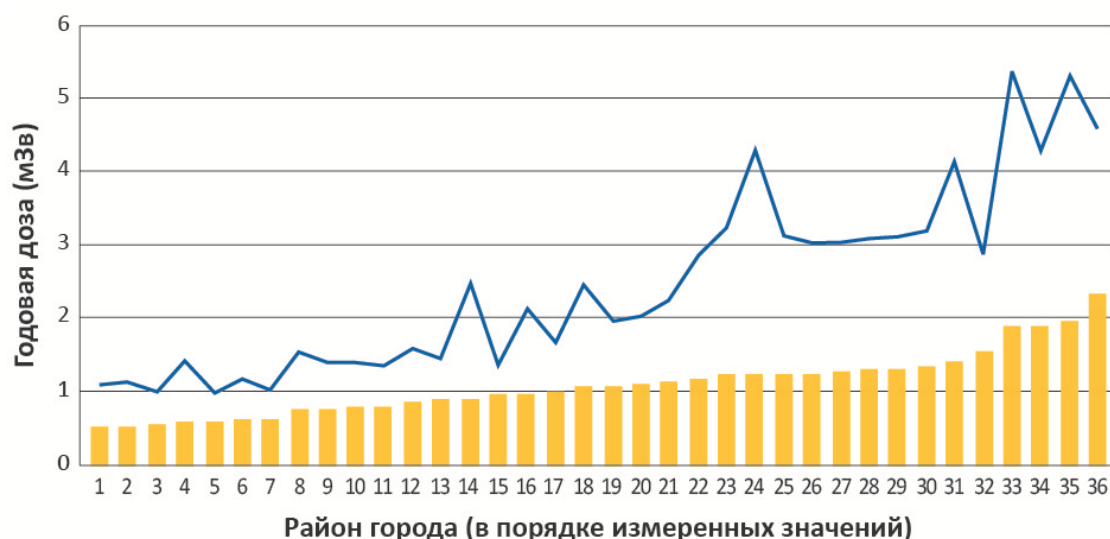


РИС. 4.8. Сравнение оценок внешних индивидуальных доз с измерениями, произведенными в репрезентативном пострадавшем городе в период с июля 2012 года по июнь 2013 года. Оценка эффективных доз произведена с помощью расчета (показано линией) при сценарии нахождения 16 часов в помещении со средствами защиты и 8 часов на открытом воздухе; и с помощью индивидуального мониторинга (показано столбцами) эквивалента индивидуальной дозы в различных районах города (показано цифрами) [209].

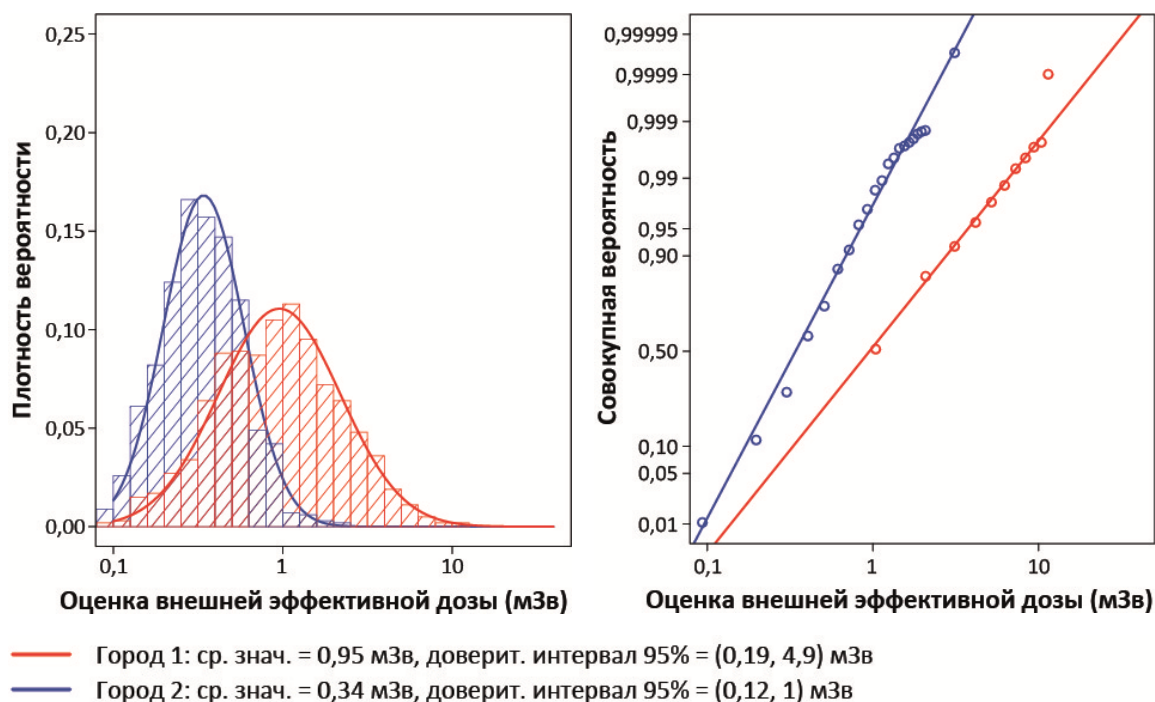


РИС. 4.9. Распределение вероятности отслеживаемых эквивалентов индивидуальной дозы населения в течение 2011 года, представленное правительством Японии для двух населенных пунктов в пострадавшем районе, по которому имелись годовые показатели. Для города 1 показана плотность распределения вероятностей (красный цвет); для города 2 показана нормализованная идеализированная плотность распределения вероятностей (синий цвет); для обоих населенных пунктов показано совокупное распределение вероятностей (см. вставку 4.6). Распределение показывает, что эквиваленты индивидуальной дозы имеют низкие значения при среднем показателе эффективной дозы ниже 1 мЗв в год, что дает 95% уверенности в том, что уровень полученных жителями этих населенных пунктов эффективных доз составляет менее 5 мЗв.

На рисунке 4.9 показан этот анализ для двух населенных пунктов в пострадавших районах, по которым имелись годовые показатели. Анализ вновь подтвердил, что годовые эквиваленты индивидуальной дозы имеют низкие значения при среднем показателе эффективной дозы менее 1 мЗв в год, что дает 95% уверенности в том, что значение полученных жителями эффективных доз ниже 5 мЗв.

Внутреннее облучение

Измерения поступления радионуклидов с использованием радиометрии всего тела производились НИРН, ЯААЭ и другими организациями в Японии.

После аварии производился мониторинг более чем 200 000 жителей в различных районах префектуры Фукусима. Уровни в целом были ниже самых низких пределов обнаружения при радиометрии всего тела, что свидетельствовало о незначительном или нулевом попадании радионуклидов в организм. В результате этого проведение подробного статистического анализа этих данных оказалось невозможным и не потребовалось.

Там, где было возможно преобразовать замеренные поступления в эффективную дозу с учетом допущений относительно времени и содержания поступления, подавляющее большинство оценок ожидаемой эффективной дозы оказалось менее 1 мЗв [210]. Оценки ожидаемой эффективной дозы при радиометрии всего тела и измерении ^{134}Cs и ^{137}Cs у 99% жителей оказались ниже уровня 1 мЗв [206].

Многие измерения при радиометрии всего тела производились через несколько месяцев после аварии [211, 212] и поэтому зачастую касаются только ^{134}Cs и ^{137}Cs , поскольку ^{131}I уже бы распался. С учетом важного значения поступлений ^{131}I как путем вдыхания, так и путем проглатывания в первый месяц после аварии, это обстоятельство затрудняет суждения относительно внутреннего облучения. Однако удалось обнаружить ^{131}I в измерениях, произведенных в Нагасакском университете у эвакуированных и кратковременных посетителей префектуры Фукусима [213]. Согласно оценкам наивысшая поглощенная щитовидной железой доза составляла 20 мГр (т.е. эквивалентная доза на щитовидную железу на уровне 20 мЗв) при соответствующей эффективной дозе 1 мЗв.

Уровень внутренних доз, полученных в первоначальный период, зависел от того, потребляли жители местные пищевые продукты или же продукты, произведенные в других местах, и пили ли они воду из-под крана в первые несколько дней до того, как начали в полном объеме действовать ограничения. Согласно обследованиям "рыночной корзины" уровень облучения в результате потребления молока, пищевых продуктов и воды был очень низок, поскольку произведенные на месте молоко и пищевые продукты в убежищах не распространялись, а для питья и приготовления детского питания использовалась только бутилированная вода.

Уровень облучения в результате потребления овощей был низким, поскольку произведенных на месте овощей, выращенных в открытом грунте, потреблялось мало или вообще не потреблялось: была ранняя весна, когда зелень еще не росла. По сути единственное, что потреблялось из местных овощей, были овощи, которые выращивались в теплицах и не были загрязнены.

Дозы для щитовидной железы у детей

Когда происходят ядерные аварии со значительными выбросами ^{131}I , большое значение в плане охраны здоровья населения имеют дозы облучения щитовидной железы у детей. Главным потенциальным способом облучения щитовидной железы у детей как правило является потребление молока, содержащего ^{131}I .

Однако объем типичного попадания ^{131}I через коровье молоко после аварии был очень низким благодаря действию ряда факторов. Практика производства молочных продуктов в Японии, например содержание скота как правило в помещениях, препятствовала поглощению ^{131}I молочными коровами. Поступление ^{131}I через молоко также оказалось ограничено благодаря относительно низкому потреблению молока младенцами и жестким ограничениям на его потребление, введенным властями после аварии. Хотя были и альтернативные пути попадания ^{131}I , например в результате потребления листовых овощей и питьевой воды, особенно в период непосредственно после выброса, оперативное введение ограничений на питьевую воду и пищевые продукты позволило ограничить попадание этим способом.

Благодаря действию этих факторов поглощение ^{131}I детьми, вероятно, должно было быть незначительным и главным образом осуществляться посредством вдыхания. Между тем существуют факторы неопределенности в связи с оценками попадания ^{131}I и эквивалентными дозами облучения щитовидной железы у детей в первые несколько дней после аварии.

Оценки эквивалентной дозы в щитовидной железе у детей осуществлялись посредством мониторинга уровней внешнего облучения по действию ^{131}I в железе. Эти уровни измерялись на коже около щитовидной железы у детей из районов, в которых прогнозировались высокие дозы облучения щитовидной железы. Небольшое число этих непосредственных измерений было представлено за период в несколько недель после аварии. На рис. 4.10 представлены результаты одного исследования, в рамках которого было произведено 1080 измерений у детей в возрасте 1-15 лет в городе Иваки, поселке Кавамата и деревне Иитатэ в период 26-30 марта 2011 года [214].

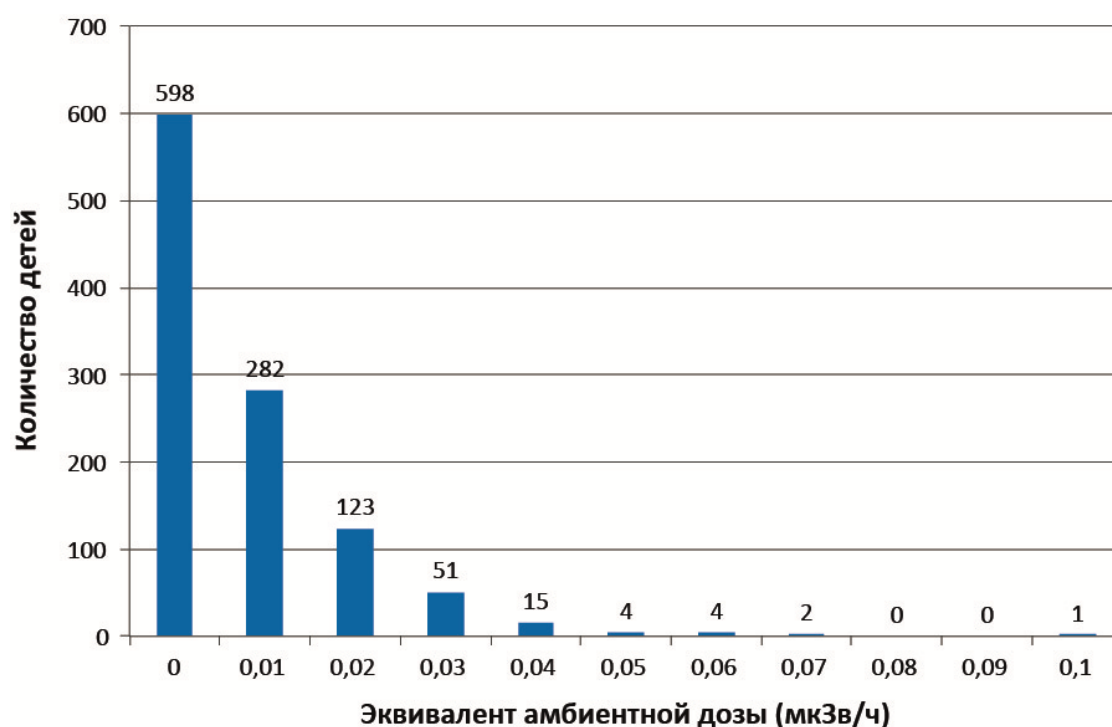


РИС. 4.10. Распределение наименьшего значения измеренных доз в щитовидной железе, рассчитанного путем вычитания величины фона из отображаемой величины [214], т.е. чистого эквивалента амбиентной дозы в щитовидной железе у 1080 детей в возрасте 0-15 лет. У 99% обследованных детей эквивалент амбиентной дозы, измеренный около щитовидной железы, составлял 0,00004 мЗв в час или менее, что соответствует эквивалентной дозе в щитовидной железе приблизительно 20 мЗв или менее.

Самый высокий показатель эквивалента амбиентной дозы, зафиксированный около щитовидной железы годовалых детей, составлял 0,0001 мЗв в час, что согласуется с поглощенной дозой для щитовидной железы примерно 50 мГр (а именно эквивалентная доза в щитовидной железе на уровне 50 мЗв). Было установлено, что эквивалентные дозы в щитовидной железе, определенные в марте 2011 года с помощью сцинтилляционного дозиметра (NaI (Tl)) у детей в зоне эвакуации и в "районах плановой эвакуации", были менее примерно 10 мЗв у 95,7% детей (при максимуме 43 мЗв) [214]. Вероятно все дозы были ниже общего оптимизированного значения уровня вмешательства для йодной профилактики – предотвращаемой ожидаемой поглощенной дозы на щитовидную железу от радиоактивного йода 100 мГр, установленной в Международных основных нормах безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения (ОНБ) 1996 года [137]. Они были также ниже прогнозируемой дозы 50 мЗв в первые

семь дней для иодного блокирования щитовидной железы, установленной в пересмотренных ОНБ [198] в качестве общих критериев для защитных мер и других мер реагирования в ситуациях аварийного облучения для снижения риска стохастических эффектов. Для сравнения поглощенные щитовидной железой дозы у детей после чернобыльской аварии составляли до нескольких тысяч мГр [169, 178], что выше в 100–1000 раз.

4.3.2 Профессиональное облучение

После аварии аварийные работники на площадке, пытавшиеся стабилизировать реакторы, сразу же оказались в крайне тяжелых условиях для работы под воздействием очень высоких уровней излучения. В период с марта 2011 года по март 2012 года у 174 из почти 23 000 работников на площадке оказался превышен показатель первоначального критерия эффективной дозы при аварии, составлявший 100 мЗв, при этом у шести из них оказался превышен показатель (временно пересмотренного) критерия эффективной дозы при аварии, составлявший 250 мЗв. Ни у одного работника не был превышен показатель эффективной дозы в 100 мЗв в последующие годы. У одного работника⁹⁶ оказался превышен предел профессиональной годовой эффективной дозы в 50 мЗв в период с апреля 2012 года по март 2013 года [203]. На рисунке 4.11 представлено сравнение эффективных доз, полученных аварийными работниками на АЭС "Фукусима-дайти" в период с марта 2011 года по октябрь 2014 года.

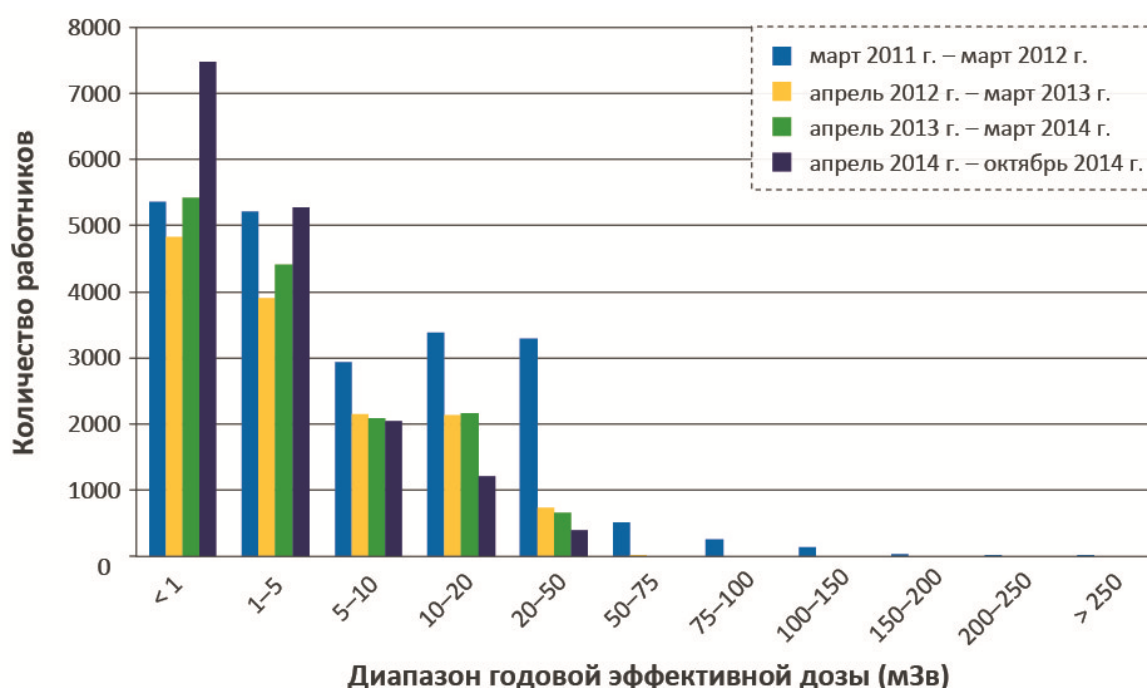


РИС. 4.11. Сравнение эффективной дозы для аварийных работников на площадке АЭС "Фукусима-дайти" с марта 2011 года по октябрь 2014 года (сотрудники ТЕПКО и подрядчики). Высокие эффективные дозы имели место в течение года после аварии. К 2012 году эффективные дозы для работников стали низкими и были сравнимы с дозами, получаемыми в ходе нормальной эксплуатации [215].

⁹⁶ Этот работник отнесен к категории лиц, подвергнувшихся воздействию предельной аварийной дозы в размере 100 мЗв вместо предельной профессиональной дозы в размере 50 мЗв в год.

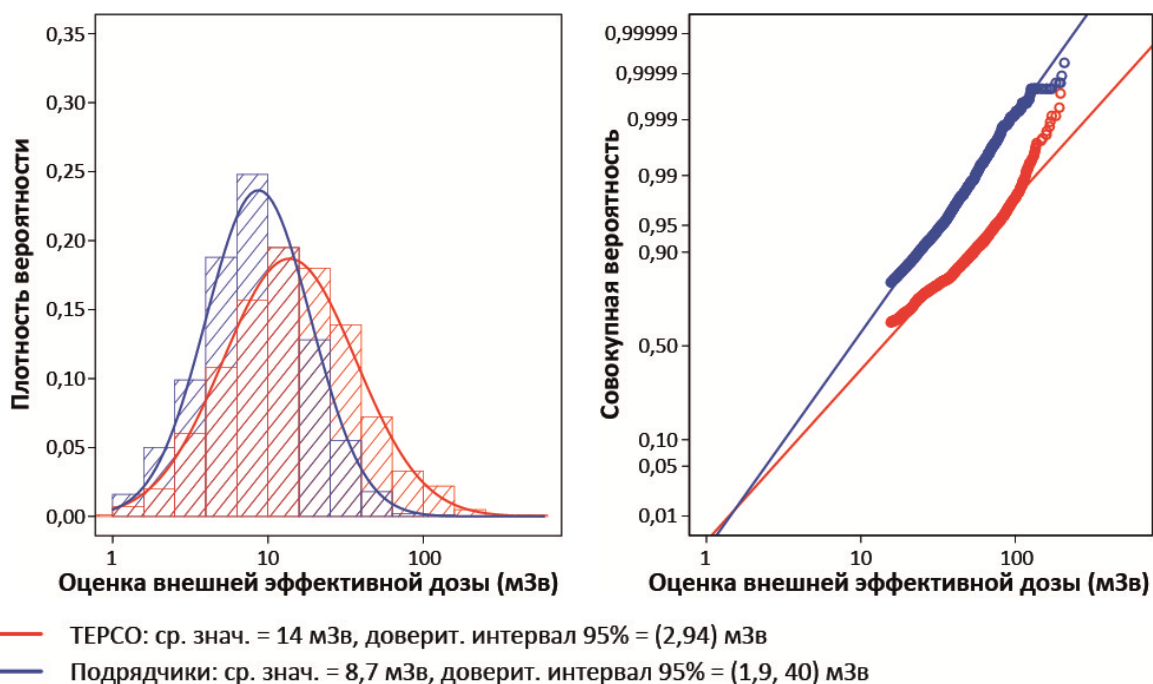


РИС. 4.12. Нормализованные идеализированные плотность распределения и совокупное распределение вероятностей (см. вставку 4.6) эквивалента индивидуальной дозы, отмеченные у работников ТЕРКО и подрядчиков в 2011 году. Дозы у работников ТЕРКО как правило были выше доз у подрядчиков, поскольку работники ТЕРКО функционировали в зонах более высоких доз [215].

Показатели эквивалента индивидуальной дозы как для работников ТЕРКО, так и для подрядчиков были представлены ТЕРКО и подвергнуты статистическому анализу. Результаты представлены на рис. 4.12.

На ранней стадии главным составляющим фактором эффективных доз, в частности доз, полученных шестью аварийными работниками на площадке, у которых оказался превышен показатель временно пересмотренного критерия доз для аварийных работников, было внутреннее облучение в результате поступления радионуклидов. Это было вызвано проблемами, обусловленными суровыми условиями работы во время аварии, неправильным использованием респираторов и недостаточной подготовкой.

Внутренние дозы представляли собой в основном эквивалентные дозы в щитовидной железе, возникшие в результате вдыхания ^{131}I . Хотя подавляющее большинство работников на АЭС "Фукусима-дайти" получили эквивалентные дозы по щитовидной железе менее 100 мЗв, 1757 работников получили эквивалентные дозы по щитовидной железе выше этого уровня, при этом 17 работников получили эквивалентные дозы по щитовидной железе выше 2000 мЗв, а два работника – выше 12 000 мЗв [216].

Что касается оценок доз облучения работников, полученных в результате внутреннего облучения, особенно эквивалентных доз по щитовидной железе, то существует ряд факторов неопределенности. Например, принципиально важное значение для оценки доз имеет предполагаемый сценарий попадания радионуклидов в организм (например по времени). Ввиду проведения аварийных операций и общих послеаварийных условий также имело место определенное временное отставание в проведении измерений. Министерство здравоохранения, труда и благосостояния провело повторную оценку ожидаемой эффективной дозы, полученной аварийными работниками. Министерство пыталось стандартизировать методологию осторожных оценок внутренней дозы, с тем чтобы не допустить занижения оценки доз, насколько это разумно достижимо [217].

На рис. 4.13 представлен статистический анализ распределения зарегистрированных доз, поглощенных щитовидной железой, и оценок ожидаемых эффективных доз, обусловленных внутренним облучением.

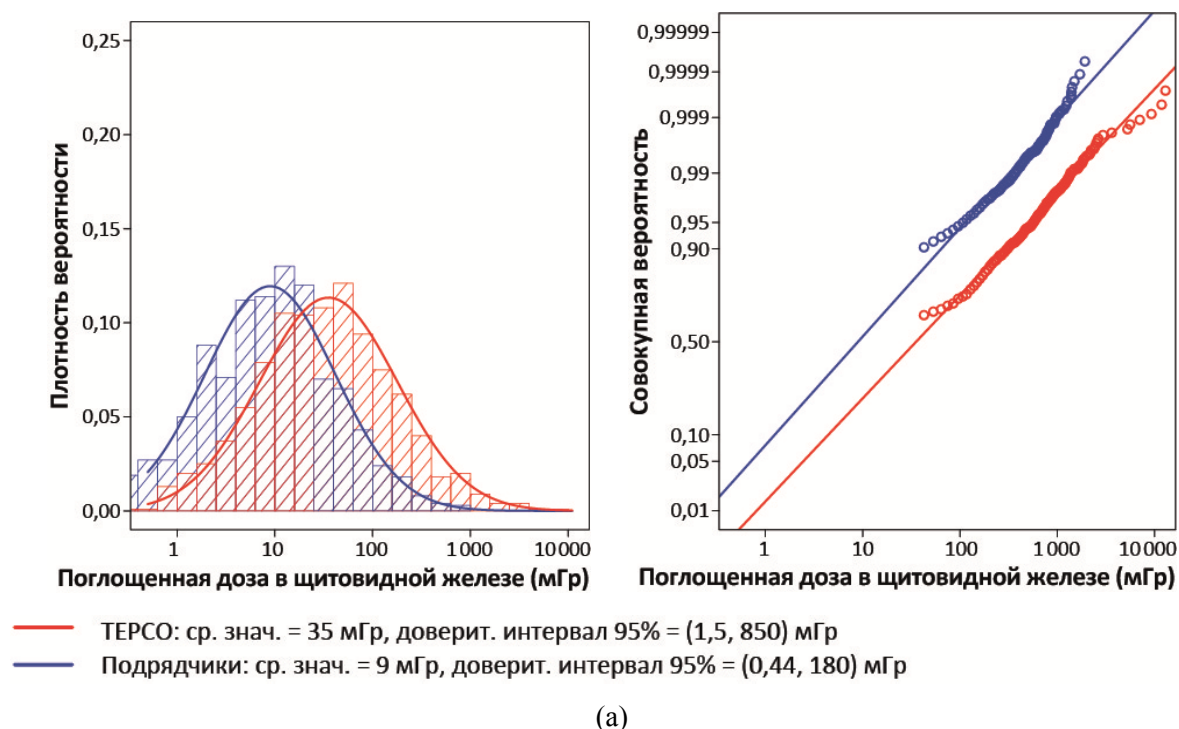


РИС. 4.13. Нормализованные идеализированные плотность распределения и совокупное распределение вероятностей внутренних доз (см. вставку 4.6): а) поглощенная щитовидной железой доза.

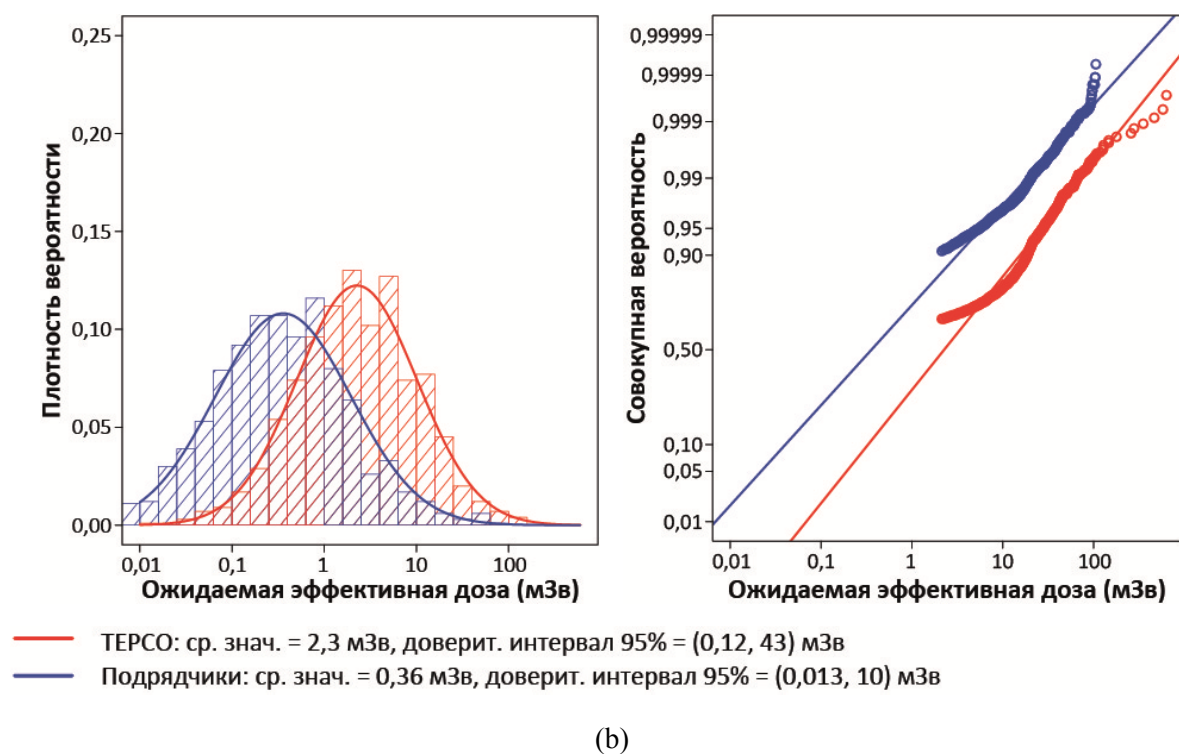


РИС. 4.13. (продолжение) Нормализованные идеализированные плотность распределения и совокупное распределение вероятностей внутренних доз (см. вставку 4.6): б) последующая ожидаемая эффективная доза. Распределение выше ожидаемого в низких дозах может предполагать, что дозы, эквивалентные уровню обнаружения, были присвоены всем лицам, у которых радиоактивности обнаружено не было [215].

Профессиональное облучение работников на площадке согласуется с выводами НКДАР ООН. Повторная оценка полученных работниками ТЕРКО и подрядчиками доз, которая появилась после опубликования доклада НКДАР ООН, была использована для статистического анализа доз в этом докладе и позволила устранить факторы неопределенности. Факторы неопределенности по-прежнему существуют в отношении доз, полученных от короткоживущих радионуклидов, влияния высокого фона в радиометрии всего тела на ранних этапах, задержек с измерениями по щитовидной железе, недостаточности информации по биоанализу. Организации в Японии продолжают устранять существующие факторы неопределенности в оценке профессиональных доз, в частности в оценке внутреннего облучения, (например [218]).

В целом ряде аварийных мероприятий были также задействованы пожарные, полицейские и служащие сил самообороны Японии (см. раздел 3). Никто из входящих в эту группу лиц не получил эффективные дозы, превышающие 100 мЗв, а большинство получило эффективные дозы менее 10 мЗв. Из более чем 8000 человек, которые работали рядом с площадкой и по которым имелась дозиметрическая информация, пятеро получили эффективные дозы, составляющие более 10 мЗв, но менее 20 мЗв. Максимальная эффективная доза, зафиксированная у полицейских, работавших рядом с площадкой, составляла около 5 мЗв.

Устранять последствия аварии помогали представители других стран. Согласно имеющимся данным у представителей Соединенных Штатов Америки, которые помогали осуществлять или осуществляли мониторинг окружающей среды в районе Фукусимы, полученная максимальная эффективная доза составляла 0,12 мЗв у военных и 0,068 мЗв у сотрудников министерства энергетики США [219], т.е. все показатели были ниже контрольных пределов. У сотрудников МАГАТЭ, которые участвовали в мониторинге окружающей среды и давали консультации по мерам защиты и безопасности, средняя эффективная доза составляла около 0,5 мЗв, при этом один сотрудник получил эффективную дозу около 2,5 мЗв в результате внешнего облучения.

4.4. ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ ЗДОРОВЬЯ

Ни у работников, ни у населения не было выявлено каких-либо ранних радиационно-индуцированных последствий для здоровья, которые можно было бы отнести на счет аварии.

Латентный период отдаленных последствий воздействия облучения на здоровье может длиться десятилетия, поэтому не следует исключать возможность того, что наличие таких последствий у подвергшегося облучению населения будет обнаружено через несколько лет после облучения. Вместе с тем, поскольку полученные населением дозы, согласно имеющимся данным, были низкими, выводы настоящего доклада совпадают с заключениями Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации (НКДАР ООН), представленными на Генеральной Ассамблее Организации Объединенных Наций. НКДАР ООН установил, что "среди жителей, подвергшихся облучению, или их потомков не ожидается сколько-нибудь заметного роста числа осложнений со здоровьем, вызванных воздействием радиации" (взято из раздела о последствиях для здоровья, связанных с "уровнями и воздействием ионизирующего излучения в результате ядерной аварии, вызванной Великим восточно-японским землетрясением и цунами 2011 года") [148]. Согласно выводу НКДАР ООН, в группе

работников, получивших эффективные дозы 100 мЗв или более, в "будущем ... можно ожидать повышенного риска заболеваемости раком. Однако выявление какого-либо повышенного уровня заболеваемости раком в этой группе не представляется возможным из-за трудностей, связанных с подтверждением столь невысокого уровня заболеваемости по сравнению с обычными колебаниями статистических показателей, характеризующих заболеваемость раком"[148].

Для проверки состояния здоровья пострадавшего от аварии населения было проведено медицинское обследование населения префектуры Фукусима. Цель этого обследования состояла в раннем обнаружении и лечении заболеваний, а также профилактике заболеваний, связанных с жизненными условиями. На момент подготовки настоящего доклада в рамках обследования производился масштабный скрининг щитовидной железы у детей. Для этих целей используется сверхчувствительное оборудование, способное выявлять бессимптомные дефекты щитовидной железы у значительного числа обследуемых детей (которые невозможно было бы обнаружить клиническими методами). Маловероятно, что обнаруженные в ходе обследования дефекты связаны с радиационным облучением в результате аварии; скорее всего, это естественные дефекты щитовидной железы, возникающие у детей в этом возрасте. Наиболее вероятным последствием аварии со значительными выбросами радиоактивного иода является рост заболеваемости детей раком щитовидной железы. Поскольку зарегистрированные дозы облучения щитовидной железы в связи с данной аварией в целом были низкими, рост заболеваемости раком щитовидной железы в детском возрасте в результате аварии представляется маловероятным. Вместе с тем оставались неопределенности в отношении эквивалентных доз облучения щитовидной железы, полученных детьми непосредственно после аварии.

Последствия пренатального облучения не наблюдались и не предвидятся, поскольку зарегистрированные дозы значительно ниже порогового значения, при котором такие последствия могут иметь место. Случаев незапланированного прерывания беременности, обусловленных радиологической ситуацией, зарегистрировано не было. Относительно возможности того, что облучение взрослых людей приведет к возникновению наследственных эффектов у их потомков, НКДАР ООН сделал вывод, что в целом, "несмотря на позитивные результаты исследований, основанных на изучении животных, увеличение частоты возникновения наследственных эффектов у населения в настоящее время нельзя однозначно объяснить воздействием облучения"[167].

У некоторых лиц из населения, пострадавших от ядерной аварии, зарегистрированы определенные психологические состояния. Поскольку многие из этих людей пострадали не только от аварии, но и в результате совокупного воздействия серьезного землетрясения и разрушительного цунами, затруднительно оценить, в какой степени эти эффекты могут быть связаны только лишь с ядерной аварией. Результаты исследования психического состояния и жизненных условий, проведенного в рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима, свидетельствуют о наличии у некоторых уязвимых групп пострадавшего населения таких связанных с аварией психологических проблем, как состояние повышенной тревоги и посттравматические стрессовые расстройства. По оценкам НКДАР ООН, "самыми серьезными последствиями [аварии] в плане здоровья стали психическое

состояние и социальное благополучие, обусловленные тем огромным воздействием, которое оказали землетрясение, цунами и ядерная авария, а также страх и распространение негативных стереотипов, связанных с предполагаемой опасностью подвергнуться действию ионизирующего излучения"[148].

В рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима, описанного во вставке 4.2, проводится всесторонний медицинский осмотр пострадавшего населения. Цель этой программы состоит в раннем обнаружении и лечении заболеваний, а также профилактике заболеваний, связанных с жизненными условиями. Помимо стандартных обследований, входящих в структуру общего медицинского осмотра, проводимого на рабочих местах или по инициативе местных органов власти, выполняются дополнительные проверки, например, определение лейкоцитарной формулы [220].

4.4.1 Ранние радиационно-индуцированные последствия для здоровья

Радиационное облучение может иметь последствия для здоровья, вызываемые уничтожением клеток. Такие последствия тем тяжелее, чем выше полученная доза, и могут варьироваться от повреждений кожи до разрушения жизненно важных тканей. Большинство последствий наступают вскоре после получения дозы, превышающей пороговые значения, рассчитанные для каждого потенциального эффекта. Согласно имеющимся данным, никто не получил дозы, способной вызвать острый лучевой синдром в результате аварии, или еще более высокой дозы. Двое работников подверглись облучению ног, источником которого была зараженная вода в турбинном зале. По имеющимся данным, полученная этими работниками эквивалентная доза на кожу была ниже предполагаемого порога возникновения детерминированных эффектов⁹⁷ [81] и соответствующих международных пределов⁹⁸ [222].

НКДАР ООН уже констатировал, что "ни одного случая смерти или возникновения острых заболеваний в связи с воздействием радиации среди работников и населения в целом, подвергшихся облучению в результате аварии, отмечено не было" [223].

⁹⁷ Согласно оценкам МКРЗ для облучения кожи, ранняя реакция, например, ранняя транзиторная эритема, проявляется уже через несколько часов после получения дозы свыше 2000 мГр, если облученный участок относительно велик. Кроме того, согласно оценкам, приблизительные значения пороговых доз были следующими: ранняя транзиторная эритема – 2000 мГр, основная эритематозная реакция – 6000 мГр, временная эпиляция – 3000 мГр, постоянная эпиляция – 7000 мГр, сухая десквамация – 14 000 мГр, влажная десквамация – 18 000 мГр, вторичное изъязвление – 24 000 мГр, поздняя эритема – 15 000 мГр, ишемический некроз кожи – 18 000 мГр, атрофия кожи (первая стадия) – 10 000 мГр, телеангиэктазия – 10 000 мГр, некроз кожи (поздняя стадия) – более 15 000 мГр [221].

⁹⁸ Рекомендуемой максимально допустимой профессиональной дозой на кожу в ситуациях планируемого облучения является эквивалентная доза 500 мЗв в год в среднем на 1 см² кожи независимо от площади облученного участка (см. таблицу 6 в [129] и график III в [198]). Для доз острого облучения кожи, при которых в целях предотвращения или сведения к минимуму серьезных детерминированных эффектов предполагается обязательное принятие защитных мер и других мер реагирования, установлен общий критерий 10 000 мГр на площади 100 см² дермы (структур кожи на глубине 40 мг/см² (или 0,4 мм) ниже поверхности) (см. таблицу IV.1 в [198]).

4.4.2 Потенциальные отдаленные радиационно-индуцированные последствия для здоровья

С учетом тяжелых обстоятельств и условий аварии из более чем 23 000 работников, участвовавших в ликвидации ее последствий, лишь 174 человека получили дозу выше 100 мЗв. Согласно выводам НКДАР ООН, в этой группе работников "в будущем можно ожидать повышенного риска заболеваемости раком. Однако предполагается, что любое повышение уровня заболеваемости раком в этой группе не будет заметным, поскольку весьма затруднительно подтвердить столь невысокий уровень заболеваемости на фоне обычных колебаний статистических показателей, характеризующих заболеваемость раком" [223].

Что касается потенциальных отдаленных последствий для населения, то до издания настоящего доклада уже были опубликованы соответствующие международные оценки (см. вставку 4.1). На основании своей предварительной оценки доз облучения ВОЗ опубликовала гипотетическую оценку⁹⁹ дополнительных, превышающих базовый уровень пожизненных рисков возникновения лейкемии, рака молочной железы, рака щитовидной железы и всех видов солидного рака у населения, находившегося в зонах с наибольшей мощностью дозы¹⁰⁰ [146, 147].

После обновления результатов оценки дозы НКДАР ООН сообщил, что

"дозы – и те, что получены населением в течение первого года, и те, что, по оценкам, будут получены на протяжении всей жизни, – как правило, низкие или очень низкие. Среди жителей, подвергшихся облучению, или их потомков не ожидается сколько-нибудь заметного роста числа осложнений со здоровьем, вызванных воздействием радиации" [223].

Перед тем, как представить доклад об аварии, НКДАР ООН проинформировала Генеральную Ассамблею, что "увеличение числа определенных последствий для здоровья у населения нельзя с уверенностью приписывать воздействию хронического облучения в дозах, не превышающих среднего уровня естественного радиационного фона" [167].

⁹⁹ Ввиду ограниченности имевшейся на тот момент информации в оценку был заложен ряд консервативных допущений. ВОЗ сообщила, что «были предприняты все усилия, чтобы не допустить недооценки доз», и что «в отдельных случаях могла иметь место переоценка доз» [146].

¹⁰⁰ Согласно проведенной ВОЗ оценке рисков для здоровья, "в двух наиболее пострадавших зонах префектуры Фукусима предварительно оцененные эффективные дозы облучения за первый год варьировались между 12 и 25 мЗв", и на основании этих данных сделан оценочный вывод, что "в зоне с наибольшей дозой облучения дополнительные, превышающие базовый уровень пожизненные риски возникновения лейкемии, рака молочной железы, рака щитовидной железы и всех видов солидного рака, вероятно, представляют верхнюю границу риска, поскольку используемые методологические варианты сознательно избирались с целью избежать недооценки рисков. Согласно прогнозам, у мужчин, подвергшихся облучению в младенческом возрасте, пожизненные риски заболевания лейкемией возрастут примерно на 7% по сравнению с базовыми уровнями заболеваемости раком; у женщин, подвергшихся облучению в младенческом возрасте, оцененные пожизненные риски заболевания раком молочной железы возрастут приблизительно на 6% по сравнению с базовыми уровнями; оцененные пожизненные риски заболевания любыми видами солидного рака у женщин, подвергшихся облучению в младенческом возрасте, увеличатся приблизительно на 4% по сравнению с базовыми уровнями; а оцененные пожизненные риски заболевания раком щитовидной железы у женщин, подвергшихся облучению в младенческом возрасте, увеличатся приблизительно на 70% по сравнению с базовыми уровнями. Указанные процентные показатели представляют собой предполагаемый относительный рост по сравнению с базовыми уровнями и не являются результатами оценки абсолютных рисков возникновения таких видов рака" [147].

По имеющимся данным, жители получили годовые дозы, не превышающие годовые дозы, связанные с обычным уровнем фоновой излучения.

Это означает, что среди жителей, подвергшихся облучению, или их потомков не ожидается сколько-нибудь заметного роста числа последствий для здоровья, вызванных воздействием радиации, что совпадает с оценкой НКДАР ООН.

Эта оценка в целом применима также к конкретному заболеванию – раку щитовидной железы у взрослых. Риск возникновения этого заболевания у взрослых гораздо ниже соответствующего риска при радиационном облучении в детстве (последствия для щитовидной железы у детей описаны ниже). С учетом представленных данных об эквивалентных дозах облучения щитовидной железы маловероятно, что число заболеваний раком щитовидной железы у взрослого населения заметно возрастет.

Вывод о повышенном риске возникновения расстройств функции щитовидной железы можно сделать в отношении лишь нескольких работников, получивших высокие эквивалентные дозы на щитовидную железу (см. раздел 4.3.2). Подобные уровни эквивалентной дозы на щитовидную железу могут привести к нарушениям ее функции, вызывающим гипотиреоз. Случаев гипотиреоза не предвидится, поскольку зарегистрированные эквивалентные дозы на щитовидную железу ниже приблизительного уровня в 15 000 мЗв, при превышении которого могут возникнуть такие эффекты. Эффекты для низких и средних эквивалентных доз на щитовидную железу, к которым, как правило, относятся дозы, полученные аварийными работниками, трудно измерить, поэтому вероятность возникновения и серьезность этих эффектов остаются неясными.

4.4.3 Последствия облучения у детей

Вероятность возникновения последствий облучения у детей вызывает особое беспокойство. Международные рекомендации и нормы радиационной защиты учитывают наличие детей среди подвергающегося облучению населения. Для целей радиационной защиты в них постулируются номинальный потенциальный радиационный риск для всего населения, то есть включая детей¹⁰¹, который приблизительно на 30% выше постулируемого риска для взрослого населения (в основе расчета подобных номинальных рисков лежат эпидемиологические обследования населения, подвергавшегося воздействию высоких доз облучения) [129, 224].

Последствия для щитовидной железы у детей

С точки зрения возникновения рака щитовидной железы, дети более радиочувствительны, чем взрослые. При заданном поступлении в организм радиоизотопов йода полученная младенцами доза на щитовидную железу в восемь-девять раз выше, чем у взрослых. Рак щитовидной железы у детей может быть следствием высокого содержания ¹³¹I в окружающей среде. Обычный уровень заболеваемости детей некоторыми разновидностями рака щитовидной железы незначителен, в то время как чувствительность детской щитовидной железы к излучению весьма высока. В связи с такой повышенной чувствительностью в период

¹⁰¹ Понятие "дети" охватывает лиц, подвергшихся облучению в младенческом, детском и подростковом возрасте.

после аварии было важно произвести контрольный скрининг в целях раннего выявления любого потенциального роста заболеваемости этой разновидностью рака [225].

Результаты ультразвуковых исследований щитовидной железы, проводимых в течение трех лет в рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима, были представлены в соответствующем докладе [226]. Скрининг прошли около 370 000 детей, которым на момент аварии было 0-18 лет. Вслед за первоначальным скринингом с 2014 года производятся полные обследования щитовидной железы, а в последующие годы будет выполняться регулярный мониторинг местных жителей.

Для скрининга щитовидной железы в обследованиях используется высокочувствительное оборудование для ультразвуковой эхографии. В ходе скрининга удалось выявить бессимптомные¹⁰² дефекты щитовидной железы – узелки, кисты и опухоли, – которые невозможно было бы выявить у бессимптомных детей с использованием типового оборудования. Аналогичные результаты были получены при проведении такого же скрининга среди детей, проживающих далеко от районов, пострадавших в результате аварии [227]. Кроме того, латентный период радиационно-индуцированного рака щитовидной железы продолжительнее четырех лет, прошедших со времени аварии на момент составления настоящего доклада. Рак щитовидной железы был обнаружен у многих детей старшего подросткового возраста, но ни одного случая не было выявлено среди наиболее уязвимой группы детей, которые на 11 марта 2011 года были младше пяти лет. По итогам первоначального скрининга, проведенного в 2011–2013 годах, доля подозрительных случаев или случаев злокачественных образований оказалась почти одинаковой во всех уездах префектуры Фукусима [228]. Эти факторы дают основание считать маловероятной связь выявленных в ходе обследования дефектов щитовидной железы с радиационным облучением в результате аварии.

Полученные данные о косвенных измерениях эквивалента внешней дозы на основании уровня активности в щитовидной железе (см. рис. 4.10) позволяют предположить, что эквивалентные дозы у детей были низкими. Учитывая эти данные об уровне доз, увеличение количества случаев рака щитовидной железы у детей не может быть обусловлено радиационным облучением.

4.4.4 Последствия для здоровья от пренатального облучения

Термин "последствия пренатального (или антенатального) облучения" используется в отношении воздействия радиации на эмбрион или плод. Считается, что облучение в предимплантационный период эмбрионального развития с поглощенными дозами ниже 100 мГр крайне редко приводит к летальному исходу, а для наступления других последствий пороговым значением поглощенной дозы является приблизительно 100 мГр [229–231]. Поглощенные дозы на эмбрион или плод, которые можно отнести на счет аварии, были гораздо ниже соответствующих пороговых значений, при которых наступают такие последствия.

¹⁰²Бессимптомными называются явления, не обнаруживающие симптомов, то есть такие, при которых ничто не свидетельствует о наличии заболевания – оно протекает незаметно и для самих детей, и для их родителей, и даже для врачей.

Проведенное в рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима (см. вставку 4.2) исследование беременностей помогло обеспечить надлежащую медицинскую помощь и обслуживание матерей, которым была выдана карта здоровья матери и ребенка в период с 1 августа 2010 года по 31 июля 2011 года, а также их детей. Результаты этого исследования обновляются каждый год с учетом новых данных, особенно касающихся беременностей и рождений [162]. Цель исследования заключалась в том, чтобы собрать данные, которые помогли бы улучшить акушерские услуги и процесс ведения беременности, а также оказать помощь беременным женщинам или женщинам, родившим детей в префектуре Фукусима после аварии. Согласно результатам исследования, значимых неблагоприятных последствий отмечено не было, а количество случаев мертворождений, ранних родов, малого веса ребенка при рождении и пороков развития оказалось схожим с такими же показателями в других частях Японии [232].

В докладе НКДАР ООН Генеральной Ассамблее ООН указано, что, "хотя наличие наследственных эффектов отмечается при исследованиях на животных, в настоящее время наличие таких эффектов у человека нельзя отнести на счет радиационного облучения" [167]. Поэтому считается, что никакие наследственные эффекты не могут быть отнесены на счет аварии.

После аварий с существенными рисками радиационного облучения некоторые беременные женщины консультируются у врачей относительно необходимости прерывания беременности. Что касается аварии на АЭС «Фукусима-дайити», то согласно результатам исследования, проведенного сотрудниками факультета акушерства и гинекологии Медицинского университета Фукусимы, после аварии не было проведено ни одного добровольного прерывания беременности [232, 233].

4.4.5 Психологические последствия

Хотя психологические последствия не могут быть непосредственно связаны с радиационным облучением, они были рассмотрены в настоящем докладе, причем в докладе НКДАР ООН отмечается, что:

"...самыми серьезными последствиями в плане здоровья стали психическое состояние и социальное благополучие, обусловленные тем огромным воздействием, которое оказали землетрясение, цунами и ядерная авария, а также страх и распространение негативных стереотипов, связанных с предполагаемой опасностью подвергнуться действию ионизирующего излучения. Уже сообщалось о таких проявлениях, как депрессия и симптомы посттравматического стресса". [148]

В настоящее время проводится ряд исследований, посвященных психологическому состоянию людей после аварии на АЭС "Фукусима-дайити". Основное внимание уделяется беременным женщинам и матерям младенцев, спасателям и ликвидаторам, а также эвакуированным лицам. У пострадавшего населения были зарегистрированы некоторые психологические последствия [234–244]¹⁰³. Согласно этим исследованиям

¹⁰³ Психологические последствия наблюдались и в других травмирующих ситуациях, причем к таким последствиям могут относиться депрессия, посттравматические стрессовые реакции, хроническое беспокойство, нарушения сна, сильные головные боли, чрезмерное курение и потребление спиртных напитков, а также такие разновидности дисфункционального поведения, как сильная злость, отчаяние, крайняя тревога за здоровье и ощущение общественного осуждения и дискриминации. Как свидетельствуют предыдущие аварии, в том числе чернобыльская

сообщение и распространение среди населения точной информации на ранней стадии аварии и в ходе дальнейшего развития ситуации способствовало смягчению нежелательных психологических реакций [150].

Самым масштабным стало исследование психического состояния и жизненных условий, проведенное в рамках медицинского обследования населения префектуры Фукусима [248] с целью предоставить надлежащую помощь прежде всего эвакуированным лицам, которые подвержены более высокому риску возникновения таких психических проблем, как посттравматическое стрессовое расстройство, состояние тревоги и стресс. Анкеты содержали вопросы о стандартных симптомах посттравматического стрессового расстройства и психологического стресса (тревоги), а также вопросы о беспокойстве по поводу радиационного облучения и лишениях, вызванных землетрясением и цунами (таких как утрата членов семьи или родственников, разрушенные дома, потеря работы, снижение доходов, переселение в другие районы префектуры Фукусима или за ее пределы).

Результаты исследования психического состояния и жизненных условий были опубликованы [236]. Они подтвердили, что пострадавшие испытывали серьезный стресс и демонстрировали симптомы посттравматического стрессового расстройства. В выводах исследования указано, что "социально-демографические данные свидетельствуют о разделении после стихийного бедствия многих эвакуированных семей и их неоднократных вынужденных переселениях", что, как предполагается, является одной из причин психологических расстройств.

Для оценки психического состояния взрослых эвакуированных лиц использовались еще два метода [249, 250], а для оценки уровня алкоголизма был проведен дополнительный опрос [251]. Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что показатели психического состояния на момент подготовки настоящего доклада были существенно хуже, чем можно было ожидать от опросов населения в целом [237]. Психическое состояние детей оценивалось с использованием другого вопросника [252, 253], причем результаты опроса свидетельствуют о том, что опрошенные дети испытывали некоторые психологические трудности, но год за годом их состояние улучшалось.

Проводились также исследования среди пострадавших работников. Согласно результатам сравнительного исследования среди работников АЭС "Фукусима-дайити" и "Фукусима-дайни", проведенного в апреле-июне 2011 года, значительно больше симптомов общего психологического стресса и посттравматических стрессовых реакций было обнаружено у работников станции "Фукусима-дайити" (см. рис. 4.14). В обеих группах работников были также отмечены статистически значимые взаимосвязи между испытываемой дискриминацией и оскорбительным обращением и симптомами этих состояний.

авария, большинство пострадавших, как правило, не подвержены психологическим расстройствам, однако в ходе многих исследований были зарегистрированы исключения [169, 245–247].

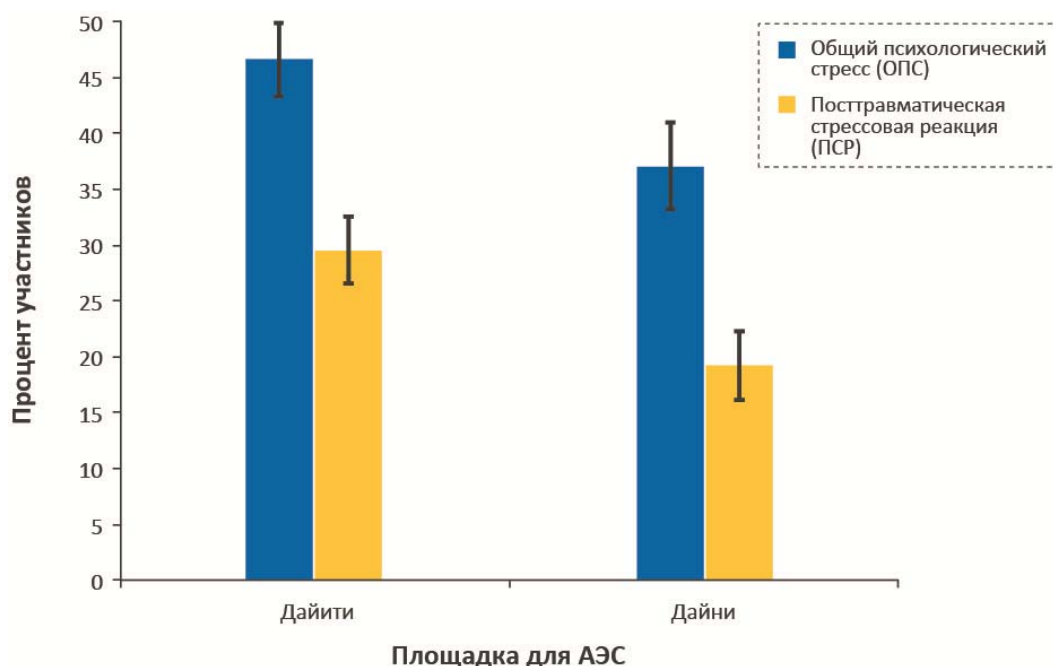


РИС. 4.14. Доля работников на АЭС "Фукусима-дайити" и "Фукусима-дайни", сообщивших о состоянии психологического стресса, апрель 2011 года [242].

4.5. РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ ДЛЯ НЕЧЕЛОВЕЧЕСКОЙ БИОТЫ

В период непосредственно после аварии были проведены некоторые ограниченные по объему наблюдения, однако прямых радиационно индуцированных последствий для растений и животных зафиксировано не было. Существующие методологии оценки радиологических последствий имеют свои ограничения, но исходя из прошлого опыта и уровней содержания радионуклидов в окружающей среде, представляется маловероятным, что авария будет иметь сколько-нибудь серьезные радиологические последствия для популяций живых организмов или экосистем.

Охрана окружающей среды¹⁰⁴ включает «защиту и сохранение: нечеловеческих биологических видов – как животных, так и растений, а также их биоразнообразие; товаров и услуг, зависящих от окружающей среды. Этот термин охватывает также производство продовольствия и кормов; ресурсов, используемых в сельском хозяйстве, лесоводстве, рыболовстве и туризме; благ, используемых в духовной, культурной и рекреационной деятельности; сред, таких как почва, вода и воздух; природных процессов, таких как круговорот углерода, азота и воды» [198]. Землетрясение и цунами стали источником серьезного экологического стресса для земной и морской сред вдоль северо-восточного побережья Хонсю [254, 255]¹⁰⁵.

¹⁰⁴ В настоящем докладе термин «окружающая среда» означает «условия, в которых протекает жизнь или развитие людей, животных и растений и которые поддерживают все процессы жизни и развития; в особенности условия, которые подвергаются воздействию в результате деятельности человека» [198].

¹⁰⁵ Другие сведения о воздействии цунами на экосистемы можно найти в [256].

Первоочередной задачей после аварии была защита людей, а не живых организмов окружающей среды, контролировать облучение которых представляется сложным. Хотя жители зоны в радиусе 20 км от станции были эвакуированы для минимизации их радиационного облучения, предотвратить облучение живых организмов помимо человека, населяющих эти районы, было невозможно. В настоящем докладе для оценки потенциального радиологического воздействия аварии на нечеловеческие организмы были использованы подходы, рекомендованные МКРЗ [224, 257]. Затем оценки уровня облучения были сопоставлены с имеющейся в опубликованных источниках информацией о воздействии такого облучения на разные виды растений и животных (см. [258, 259]).

Общая неопределенность, связанная с типами моделей, применяемыми в данной оценке, весьма велика, особенно в тех случаях, когда делаются предположения относительно переноса загрязнителей в окружающей среде [260]. Как правило, эти оценочные методологии базируются на простых предположениях, а неопределенности обычно учитываются путем использования консервативных предположений. Контрольные показатели, используемые для соотнесения расчетных доз с радиационными последствиями, касаются главным образом хронического, а не острого облучения и некоего ограниченного круга отдельных организмов, а не популяций или экосистем. В современных методологиях не учитывается взаимодействие между различными компонентами экосистем и совокупное воздействие радиации и других факторов экологического стресса. Необходимо улучшать как оценочные методологии, так и знания о радиационно индуцированных последствиях для экосистем.

Наивысший уровень оцененной поглощенной дозы для растений отмечался в первые недели после аварии, но он не достигал уровней, при которых можно ожидать наступления острых последствий. На раннем этапе после аварии соответствующие референтные уровни были превышены для некоторых условных живых организмов земной среды (таких как сосна, трава, олени и крысы). Вместе с тем общего воздействия на популяции этих организмов или экосистемы зафиксировано не было.

В более ранних публикациях НКДАР ООН [261, 262] сообщалось, что при дозах менее 1,2 Гр хвойным породам деревьев может быть причинен лишь незначительный вред, тогда как дозы в диапазоне 10–20 Гр могут повлечь за собой более серьезный вред, ведущий к гибели. Исходя из оцененных доз можно заключить, что прямые летальные эффекты для дикорастущей травы, которая обладает большей стойкостью к облучению, маловероятны. Что касается земных животных, то оцененная мощность дозы на раннем этапе показала, что вероятность расстройств репродуктивной системы весьма мала.

Хотя на ранних этапах аварии мощность дозы и превысила некоторые референтные значения, это не должно негативно отразиться на популяциях растений и животных и экосистемах. Долгосрочных последствий не ожидается также потому, что оцененные кратковременные дозы были в целом намного ниже уровней, на которых можно было бы ожидать острых эффектов, причиняющих большой вред, а также потому, что значения мощности дозы после аварии относительно быстро снизились.

4.6. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ

По итогам оценки радиологических последствий аварии был сформулирован ряд замечаний и извлечен ряд уроков.

- **В случае аварийных выбросов радиоактивных веществ в окружающую среду необходимо оперативно проводить количественную оценку и характеризацию объема и состава выброса. Если выбросы имеют значительные размеры, должна приниматься комплексная и скоординированная программа долгосрочного мониторинга окружающей среды в целях определения характера и масштабов радиологического воздействия на окружающую среду на местном, региональном и глобальном уровнях.**

Расчет и определение параметров источника выброса во время аварии на АЭС «Фукусима-дайити» оказались сложной задачей. Оперативный мониторинг окружающей среды позволяет подтвердить уровни концентрации радионуклидов и закладывает начальную основу для организации защиты населения. Результаты могут использоваться для информирования населения и разработки стратегий деятельности по реагированию и восстановлению. Продолжать мониторинг окружающей среды важно и для того, чтобы удостовериться в отсутствии новых крупных выбросов радионуклидов и предоставить руководителям и другим заинтересованным сторонам данные о возможном перераспределении радионуклидов в окружающей среде с течением времени.

- **Соответствующие международные органы должны подготовить разъяснения по принципам и критериям радиационной защиты, понятные неспециалистам, чтобы сделать их применение более ясным для руководителей и населения. Поскольку применение некоторых долговременных защитных мер нарушает привычный уклад жизни пострадавших, необходимо применять более эффективную коммуникационную стратегию для разъяснения обоснованности таких мер и действий всем заинтересованным сторонам, включая население.**

Общепризнана необходимость разъяснения простым языком ряда вопросов радиационной защиты, включая:

- разницу между понятиями «предел дозы» и «референтный уровень» и соответствующую аргументацию;
- критерии для обоснования защитных мер и действий с целью избежать получения доз радиации в долгосрочной перспективе, особенно когда они связаны с серьезным нарушением привычного уклада жизни;
- конкретные ситуации, связанные с радиационной защитой работников в аварийной ситуации.

Принципы радиационной защиты опираются не только на научный фундамент, но и на оценочные суждения, имеющие в своей основе этические принципы. В некоторых обстоятельствах результатом реализации защитных мер и действий становится длительное нарушение нормальной жизни общества. В этих обстоятельствах потенциальная польза от неполучения доз радиации должна перевешивать тот индивидуальный и общественный дискомфорт, который вызван самими защитными мерами и действиями. Важно дать заинтересованным сторонам обоснование необходимости осуществления долговременных мер и действий по радиационной защите.

- **Принятие консервативных решений в отношении уровней удельной активности и концентрации активности в потребительских товарах, а также активности отложений обусловило введение долгосрочных ограничений и привело к связанным с этим трудностям. В ситуации долговременного облучения важное позитивное значение имеет согласованность международных норм, а также обеспечение соответствия национальных норм международным нормам, в особенности в том, что касается питьевой воды, пищевых продуктов, непродовольственных потребительских товаров и активности отложений на суше.**

Японскими властями были введены меры контроля присутствия радиоактивных веществ в потребительских товарах, которые в целом были более строгими по сравнению с методическими рекомендациями, существующими на международном уровне. Современная международная система контроля радиоактивности потребительских товаров регулируется отдельными руководящими материалами, например: Codex Alimentarius для продовольствия (включая бутилированную воду) в международной торговле, нормами безопасности МАГАТЭ для продовольствия и питьевой воды для потребления в условиях аварийной ситуации, руководящими материалами ВОЗ для питьевой воды в ситуации существующего облучения и нормами безопасности МАГАТЭ для непродовольственных товаров в целях изъятия из правил. Необходимо обеспечить соответствие между международными нормами в отношении допустимых уровней радиоактивности товаров широкого потребления, чтобы облегчить их применение регулирующими органами и их понимание населением. Национальные нормы должны в необходимых случаях соответствовать международным. Кроме того, необходимо выработать критерии в отношении долговременного присутствия радионуклидов на территориях.

- **Индивидуальный радиационный мониторинг репрезентативных групп населения дает ценнейшую информацию для достоверной оценки доз излучения, и он должен использоваться одновременно с измерениями окружающей среды и соответствующими моделями оценки дозы для определения оценочных уровней доз облучения населения.**

Первоначальная оценка доз основывалась на измерениях радиоактивности окружающей среды и моделировании, в результате чего были сделаны некоторые консервативные предположения в отношении полученных и прогнозируемых доз.

Индивидуальный мониторинг присутствия ^{131}I в щитовидной железе у детей должен быть проведен как можно скорее после выброса радиоактивного иода в окружающую среду ввиду короткого периода полураспада этого радионуклида. Индивидуальный мониторинг внешнего облучения и присутствия в организме более долгоживущих радионуклидов (например, ^{137}Cs) должен проводиться по мере целесообразности и при необходимости продолжаться с течением времени.

В отсутствие индивидуальных замеров радиации для оценки доз облучения, получаемых индивидами, может потребоваться моделирование данных об окружающей и внешней среде. В этих случаях неопределенности, связанные с используемыми в моделях предположениями, должны быть четко разъяснены, особенно если результаты используются для обоснования принимаемых решений о защитных мерах и действиях или для оценки потенциальных радиационно индуцированных последствий для здоровья.

- **Хотя молочные продукты в Японии не служат основным источником поступления в организм радиоактивного иода, очевидно, что наиболее важным способом, позволяющим ограничить дозу облучения щитовидной железы, особенно у детей, является ограничение потребления свежего молока.**

Оценки указывают на низкие дозы облучения щитовидной железы у детей после аварии. Это объяснялось сочетанием ряда факторов, включая время года (до наступления посевного сезона), сельскохозяйственную практику в Японии, низкое потребление коровьего молока детьми младенческого возраста и немедленно введенный контроль за потреблением молока. Эти факторы способствовали низкому уровню потребления ¹³¹I.

- **Необходима надежная система мониторинга и регистрации доз профессионального облучения, получаемого по каждому соответствующему пути, особенно в результате внутреннего облучения, которому могут подвергаться работники в ходе мероприятий по управлению тяжелыми авариями. Важно обеспечивать наличие достаточного количества соответствующих средств индивидуальной защиты, ограничивающих облучение работников во время операций по аварийному реагированию, а также достаточную подготовку работников по применению этих средств.**

Первоначальные и дальнейшие прямые замеры радиационного облучения и уровней радионуклидов, попавших в организм аварийных работников, – самый ценный способ получения информации для оценки радиационных рисков и потенциальных последствий для здоровья, а также для оптимизации защиты. Необходимо осуществлять мониторинг и регистрацию доз профессионального облучения при помощи надежной системы индивидуальных дозиметров и измерений. Необходимо как можно скорее начинать мониторинг содержания ¹³¹I в щитовидной железе.

Сразу же после аварии на АЭС «Фукусима-дайти» возникли трудности с предоставлением средств индивидуальной защиты для ограничения облучения работников и мониторинга.

- **Заинтересованным сторонам необходимо четко разъяснить риски радиационного облучения и то, в какой степени последствия для здоровья могут быть обусловлены радиацией, дав ясно понять, что рост числа последствий для здоровья у населения не всегда объясняется облучением, если уровни облучения сопоставимы с глобальным средним уровнем радиационного фона.**

В случае аварии на АЭС «Фукусима-дайти» дозы облучения населения были низкими и сопоставимыми с типичными глобальными средними дозами фонового излучения. Необходимо четко информировать население, и особенно пострадавших, о том, что в результате аварии заметного усиления радиационно индуцированных последствий для здоровья лиц из населения и их потомков не ожидается.

Знать о радиации и ее возможных последствиях для здоровья важно всем тем, кто участвует в ликвидации последствий аварийной ситуации, в особенности врачам, медсестрам, радиационным технологам и работникам служб неотложной медицинской помощи. Это должно обеспечиваться посредством надлежащей учебно-образовательной работы с медицинским персоналом по таким темам, как радиоактивность, радиация и последствия для здоровья, связанные с радиационным облучением.

- **После ядерной аварии весьма важно и полезно проводить медицинские обследования, но к ним не следует относиться как к эпидемиологическим исследованиям. Результаты таких медицинских обследований призваны дать информацию для оказания медицинской помощи пострадавшему населению.**

Медицинское обследование населения префектуры Фукусима служит источником ценной информации о здоровье для местных жителей, помогая обеспечить, чтобы

все последствия для здоровья оперативно выявлялись, а для защиты здоровья населения принимались соответствующие меры. Общие результаты медицинских осмотров могут дать важную информацию, но их не следует путать с результатами эпидемиологической оценки.

- **Необходимо проводить консультации по радиологической защите в целях смягчения психологических последствий для пострадавшего населения, связанных с радиологическими авариями. Целевая группа МКРЗ рекомендовала вырабатывать "стратегии смягчения серьезных психологических последствий радиологических аварий"[149].**

В результате аварии у людей возникают психологические травмы. Это происходит всякий раз после аварий, связанных с радиационным облучением. Несмотря на их серьезность, эти последствия не учитываются в международных рекомендациях и нормах радиологической защиты.

- **Фактическая информация о последствиях облучения должна в понятной форме и оперативно доноситься до жителей пострадавших районов с целью расширения их знаний о стратегиях защиты, уменьшения их обеспокоенности и поддержки их собственных инициатив по обеспечению своей защиты.**

На национальном и местном уровнях должны быть созданы механизмы для передачи понятной информации населению, которое может оказаться затронутым авариями с радиологическими последствиями. Эти механизмы должны предполагать диалог в форме живого общения, чтобы люди могли обращаться за разъяснениями и говорить обо всем, что их волнует. Для работы этих механизмов потребуются согласованные усилия соответствующих ведомств, экспертов и специалистов по предоставлению поддержки и консультаций пострадавшим индивидам и общинам. Обмен информацией имеет важное значение с точки зрения донесения принятых решений о защите этих людей, включая поддержку их собственных инициатив.

- **Во время аварийной фазы приоритетное внимание должно уделяться защите людей. Дозы, получаемые биотой, невозможно контролировать, и в отдельных случаях они могут быть потенциально высокими. Знания о последствиях радиационного облучения для нечеловеческой биоты должны расширяться за счет совершенствования оценочной методологии и изучения радиационно индуцированных последствий для популяций растений и животных и для экосистем. После крупномасштабного выброса радионуклидов в окружающую среду необходимо применять комплексный подход к обеспечению устойчивости сельского и лесного хозяйства, рыбного промысла и туризма, а также использования природных ресурсов.**

Ввиду нецелесообразности введения контрмер существенное снижение доз для нечеловеческой биоты может оказаться сложной задачей. Оценки последствий для флоры и фауны таких аварий, как авария на АЭС «Фукусима-дайити», требуют учета многочисленных потенциальных факторов стресса, и радиационное облучение является только одним из них. Необходимо также учитывать потенциальную возможность увеличения концентрации и накопления долгоживущих радионуклидов в окружающей среде и то, каким образом это может повлиять на флору и фауну на протяжении многих поколений.

5. ПОСЛЕАВАРИЙНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Сразу же после аварии на АЭС «Фукусима-дайти» первоочередное внимание было уделено стабилизации состояния реакторов на станции и защите населения путем реализации мер, которые включали укрытие и эвакуацию жителей затронутых аварией районов, а также введение ограничений на потребление пищевых продуктов¹⁰⁶ и питьевой воды. По мере продолжения работ и после стабилизации состояния на площадке АЭС больше внимания стало уделяться послеаварийным восстановительным мероприятиям, в том числе возрождению местных общин и восстановлению инфраструктуры.

В данном разделе речь идет о ходе послеаварийного восстановления до марта 2015 года, а также о планах на будущее. В основном в нем идет речь о ситуации существующего облучения, наступившей после аварийной фазы.

5.1. РЕАБИЛИТАЦИЯ ПОСТРАДАВШИХ В РЕЗУЛЬТАТЕ АВАРИИ ТЕРРИТОРИЙ ЗА ПРЕДЕЛАМИ ПЛОЩАДКИ

Долгосрочной целью послеаварийного восстановления¹⁰⁷ является воссоздание приемлемой основы для полноценного функционирования общества в пострадавших районах. Необходимо рассмотреть возможность реабилитации¹⁰⁸ пострадавших в результате аварии территорий, с тем чтобы снизить дозы облучения до значений, соответствующих принятым референтным уровням. При подготовке к возвращению эвакуированных жителей необходимо учитывать такие факторы, как восстановление инфраструктуры и обеспечение жизнеспособности и устойчивой экономической деятельности общества.

До аварии на АЭС «Фукусима-дайти» в Японии не было установлено какой-либо политики или стратегий в отношении послеаварийной реабилитации, и поэтому возникла необходимость их разработки после аварии. Политика реабилитации территорий была введена в действие правительством Японии в августе 2011 года¹⁰⁹. В рамках этой политики были распределены сферы ответственности национального и местного правительств, оператора и населения, а также созданы институциональные механизмы, необходимые для выполнения и координации программы работы.

¹⁰⁶ В том числе ограничения на распределение и продажу продовольствия, использование сельскохозяйственных угодий и сбор природных продуктов питания (см. раздел 3.3.).

¹⁰⁷ Послеаварийное восстановление включает: реабилитацию пострадавших в результате аварии территорий; стабилизацию состояния поврежденных установок на площадке и подготовку к их выводу из эксплуатации; обращение с загрязненными материалами и радиоактивными отходами, образующимися в ходе этой деятельности; и возрождение общин и участие заинтересованных сторон.

¹⁰⁸ Реабилитация означает любые мероприятия, которые могут проводиться в целях снижения радиационного облучения, обусловленного наличием радиоактивного загрязнения участков земной поверхности, посредством мер, применяемых в отношении собственно радиоактивного загрязнения (источника) или путей поступления облучения к людям.

¹⁰⁹ Закон о специальных мерах по борьбе с загрязнением окружающей среды радиоактивными материалами в результате их выброса во время аварии на атомной электростанции в регионе Тахоку после тихоокеанского землетрясения, происшедшего 11 марта 2011 года, Закон № 110 2011 года..

Была разработана стратегия реабилитации, и началось ее осуществление. В стратегии указывалось, что в первую очередь реабилитации подлежат жилые районы, включая здания, земли фермерских хозяйств, дороги и объекты инфраструктуры, с уделением особого внимания снижению уровней внешнего облучения.

Основным путем облучения являются внешние дозы, получаемые от осевших на земле и на других поверхностях радионуклидов. В этой связи стратегия реабилитации сосредоточена на работах по дезактивации с целью снижения уровней активности радиоактивного цезия в первоочередных для реабилитации районах, что позволяет уменьшить потенциальную возможность получения таких доз облучения. Контроль и снижение доз внутреннего облучения обеспечивается за счет продолжения применения мер по ограничению потребления определенных пищевых продуктов, а также путем проведения мероприятий по реабилитации сельскохозяйственных угодий.

После аварии власти в Японии приняли «референтный уровень» (контрольный уровень) в качестве целевого дозового уровня для всех операций в рамках стратегии реабилитации. Этот уровень соответствует нижнему значению диапазона, указанного в международных руководствах. Применение низкого референтного уровня влечет за собой увеличение объемов загрязненных материалов, образующихся в ходе мероприятий по реабилитации, увеличивая тем самым затраты и потребление ограниченных ресурсов. Приобретенный в Японии опыт мог бы использоваться при разработке практических руководств по применению международных норм безопасности в ситуациях послеаварийного восстановления.

На основе дополнительных годовых доз, оцененных осенью 2011 года, были определены две категории загрязненных территорий. В сферу ответственности правительства страны входили составление и реализация планов реабилитации в первой зоне («особом районе дезактивации») – в радиусе 20 км от площадки АЭС «Фукусима-дайити», а также в районах, в которых по прогнозам дополнительные годовые дозы в результате загрязнения местности должны были в первый год после аварии превысить 20 мЗв. В сферу ответственности местных органов (муниципалитетов) вошло проведение мероприятий по реабилитации в другой зоне («территории интенсивного контроля загрязнения»), в пределах которой по прогнозам дополнительные годовые дозы должны были превышать 1 мЗв, но оставаться ниже 20 мЗв. Были поставлены конкретные цели снижения доз, включая долгосрочную цель – достичь значения дополнительной годовой дозы 1 мЗв или ниже.

5.1.1. Создание нормативно-правовой базы

После аварии правительство Японии установило политику в отношении восстановления и реабилитации на основе введения в силу 21 августа 2011 года «Закона о специальных мерах по борьбе с загрязнением окружающей среды радиоактивными материалами в результате их выброса во время аварии на атомной электростанции в регионе Тахоку после тихоокеанского землетрясения, прошедшего 11 марта 2011 года» [124]. В этот закон включены положения о приоритетном порядке реабилитации территорий, распределении средств для проведения реабилитации и об участии во всем этом процессе заинтересованных сторон.

Первыми шагами в разработке программы реабилитации было определение соответствующих референтных уровней и формулирование стратегии реабилитации, целью которой являлась необходимость снижения доз облучения населения до этих приемлемых уровней. В международных руководствах рекомендуется выбирать референтный уровень дополнительной дозы в диапазоне от 1 до 20 мЗв в год в зависимости от сложившихся обстоятельств (вставка 5.1) [129, 198, 263]¹¹⁰.

При выборе референтных уровней из этого диапазона важно не устанавливать их слишком высокими, поскольку это может поставить под угрозу требуемую цель безопасности, и не слишком занижать их – это может привести к весьма не оптимальному использованию ограниченных ресурсов. На начальных этапах реабилитации в Японии в 2011 году правительство Японии установило заведомо низкие референтные уровни [264, 265], а в качестве долгосрочной цели для местных жителей после реабилитации был установлен уровень дополнительной дозы не более 1 мЗв в год [266]. Это соответствует нижнему значению диапазона, указанного в международных руководствах (вставка 5.1).

Примером весьма консервативного подхода, используемого при расчете доз облучения людей, послужила оценка НКДАР ООН [148]. Расчет этих доз производится на основе измерения активности ^{134}Cs и ^{137}Cs на единицу площади с учетом падения активности за счет распада, потери активности за счет естественного выветривания этих элементов с поверхностей и коэффициента экранирования, типичного для деревянных домов. Расчеты, проведенные для целей настоящего доклада с использованием той же методологии, которая применялась НКДАР ООН [148, 267], показали, что средние дополнительные дозы излучения на крупных участках территории интенсивного контроля загрязнения (см. раздел 5.1.2) в 2012 году должны были быть существенно ниже 1 мЗв в год.

Вставка 5.1. Референтный уровень для реабилитации

«Референтным уровнем» называется целевой уровень значения дозы применительно ко всей стратегии реабилитации, но это не предел дозы. В международных руководствах [129, 263] в отношении дополнительного облучения лиц из населения в «ситуациях существующего облучения» в зависимости от сложившихся обстоятельств рекомендуются референтные уровни в диапазоне от 1 до 20 мЗв/год.

Референтные уровни устанавливаются правительством, регулирующим органом или другим соответствующим компетентным органом на основе положений национальной регулирующей основы. Референтные уровни в послеаварийных условиях используются для определения оптимальных стратегий реабилитации. Эти стратегии обеспечивают проведение реабилитации на основе оптимального использования имеющихся людских, технических и финансовых ресурсов с целью достижения наилучших результатов в деле защиты населения пострадавших районов.

Конкретные меры, применяемые для снижения уровня загрязнения окружающей среды и доз излучения, обычно определяются установленными «уровнями действий в отношении реабилитации». Обычно они выражаются в легко измеряемых единицах, таких, как мощность амбиентной дозы гамма-излучения (мкЗв/ч) или активность отложений на единицу площади (Бк/м²), и определяются на основе референтных уровней с использованием моделей и допущений в отношении образа жизни людей и поведения радионуклидов в окружающей среде.

¹¹⁰ Во время аварии имелся еще неопубликованный вариант промежуточного издания Международных основных норм безопасности [263]. Серия норм безопасности МАГАТЭ № GSR Part 3 [198] была впоследствии опубликована в 2014 году.

5.1.2. Принятая стратегия реабилитации

На разработку стратегии реабилитации повлиял тот факт, что доз внутреннего облучения после аварии в основном удалось избежать благодаря введенным ограничениям в отношении пищевых продуктов и питьевой воды. В связи с этим описываемые в настоящем докладе мероприятия по реабилитации в первую очередь касались работ по дезактивации в целях снижения уровней доз внешнего облучения.

В принятой правительством Японии стратегии реабилитации был выработан подход к быстрому снижению доз излучения, предусматривающий первоочередную реабилитацию жилых районов, фермерских хозяйств и лесных массивов, примыкающих к жилым районам или сельскохозяйственным угодьям [124, 266]. С целью облегчения этой задачи в августе 2011 года подлежащие реабилитации земли были классифицированы следующим образом.

- **Особый район дезактивации** (рис. 5.1, справа). Этот район частично охватывает бывшие «территории ограниченного доступа», т.е. зону эвакуации в радиусе 20 км от АЭС «Фукусима-дайти» и бывшие «районы плановой эвакуации», которые были расположены за 20-километровой зоной вокруг станции и в которых дополнительные годовые индивидуальные дозы в первый год после аварии могли превышать 20 мЗв. В пределах особого района дезактивации ответственность за составление и осуществление планов реабилитации лежит на правительстве Японии.
- **Территория интенсивного контроля загрязнения** (рис. 5.1, справа). Сюда входят те муниципалитеты, в которых по оценкам в первый год дополнительные индивидуальные дозы облучения в некоторых районах могли составлять от 1 до 20 мЗв¹¹¹. Муниципалитеты осуществляют дозиметрический контроль с целью выявления районов, в которых требуется дезактивация, и проводят в этих районах мероприятия по реабилитации с финансовой и технической помощью правительства страны.

В 2012 и 2013 годах районы, в отношении которых были подготовлены распоряжения об эвакуации, были разбиты еще на три следующие категории на основе расчетной суммарной годовой дозы для жителей этих районов, если таковые остались (рис. 5.1, слева) [268, 269].

- **Зона 1 (зеленого цвета)**. Районы, в отношении которых готовы отмены распоряжений об эвакуации. Ожидалось, что годовая доза составит 20 мЗв или менее.
- **Зона 2 (оранжевого цвета)**. Районы, в которых местным жителям жить не разрешается. Ожидалось, что годовая доза превысит 20 мЗв.
- **Зона 3 (красного цвета)**. Районы, в которые, как предполагалось, местные жители не смогут вернуться в течение длительного времени. Расчетная годовая доза была выше 50 мЗв, и ожидалось, что средняя годовая доза в течение шести лет после аварии составит более 20 мЗв.

¹¹¹ На этой территории в качестве радиологического критерия использовалась мощность амбиентной дозы 0,23 мкЗв/ч. Такая мощность дозы по консервативным оценкам соответствует дополнительной эффективной дозе 1 мЗв в течение одного года.

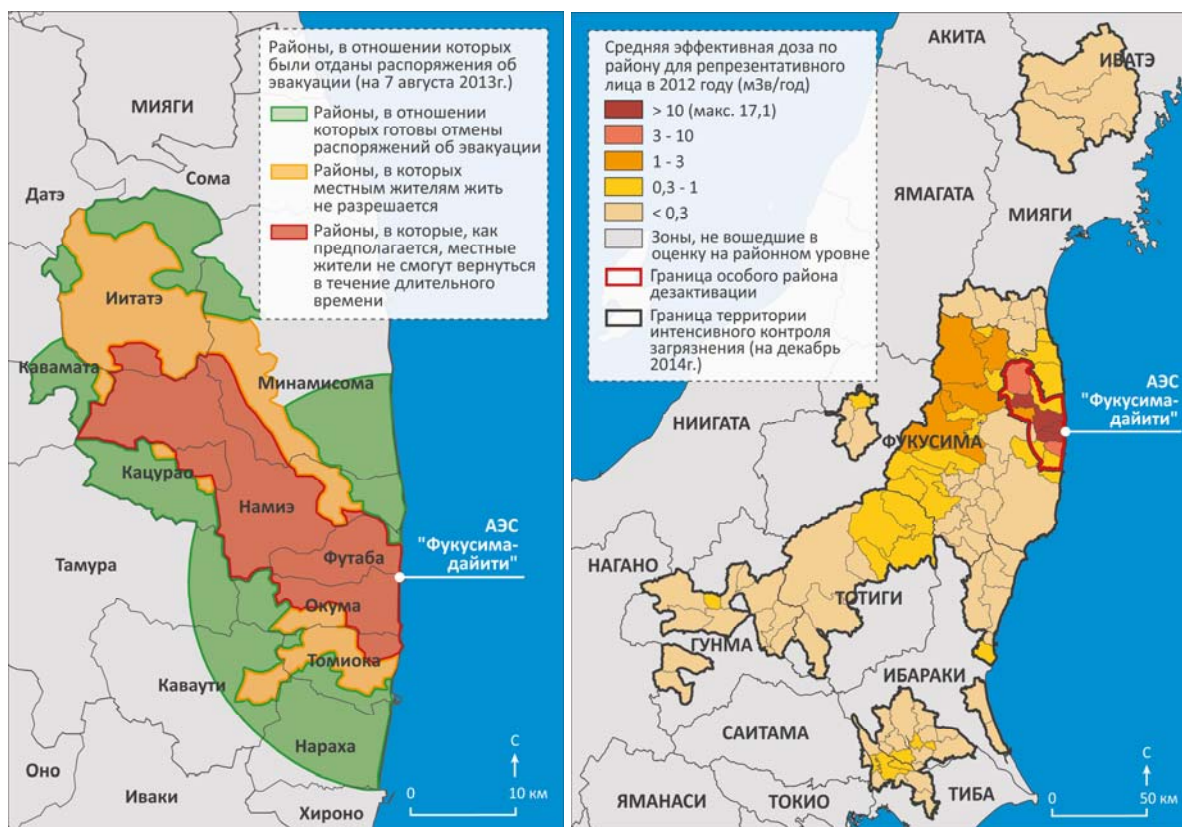


РИС. 5.1. На карте слева указаны отдельные районы зоны эвакуации по состоянию на 7 августа 2013 года [270]. На карте справа показано расположение «особого района дезактивации» и «территории интенсивного контроля загрязнения» (по состоянию на декабрь 2014 года) и указаны расчетные дополнительные дозы облучения репрезентативных групп в 2012 году.

5.1.3. Ход реабилитации

В 2011 году был осуществлен ряд пилотных проектов. ЯААЭ сначала выполнило ряд маломасштабных исследований на двух площадках за пределами зоны эвакуации для оценки эффективности дезактивации в снижении мощности дозы на различных поверхностях (например, улицы, крыши, стены и газоны) [271]. В дальнейших исследованиях рассматривались вопросы осуществимости дезактивации более крупных площадей в зонах эвакуации, проводилась оценка эффективности этих мер для снижения мощности амбиентных доз гамма-излучения и изучались последствия их применения с точки зрения безопасности работников и обращения с образующимися отходами.

Эти пилотные исследования сыграли важную роль в планировании и осуществлении стратегий реабилитации. Они предоставили информацию об эффективности и применимости методов дезактивации и помогли разработать процедуры для радиационной защиты работников [272].

Широко применяемые после аварии на АЭС «Фукусима-дайити» меры по реабилитации перечислены в таблице 5.1. В первые годы проведения реабилитации широко использовалось удаление верхнего слоя почвы, в результате которого образуются большие объемы отходов.

ТАБЛИЦА 5.1. ШИРОКО ОСУЩЕСТВЛЯЕМЫЕ МЕРЫ ПО РЕАБИЛИТАЦИИ

Цель	Меры по реабилитации
Дома и здания	<ul style="list-style-type: none"> — удаление отложений с крыш, настилов и водосточных труб — протираание крыш и стен — пескоструйная обработка — промывка струей воды высокого давления
Школьные дворы, сады и парки	<ul style="list-style-type: none"> — удаление верхнего слоя почвы — удаление сорняков/травы/травостоя
Дороги	<ul style="list-style-type: none"> — удаление отложений из кюветов — промывка струей воды высокого давления
Сады и деревья	<ul style="list-style-type: none"> — скашивание травы — удаление опавших листьев — удаление верхнего слоя почвы — промывка струей воды высокого давления — срезание поверхности/коры деревьев
Земли фермерских хозяйств	<ul style="list-style-type: none"> — вспашка с оборотом пласта — удаление верхнего слоя почвы — обработка почвы (например, интенсивное применение удобрений) — удаление слоя земли после применения отвердителя почвы — удаление сорняков/травы/травостоя
Животноводство	<ul style="list-style-type: none"> — контроль уровней радиоактивного цезия в корме для животных
Леса и лесонасаждения	<ul style="list-style-type: none"> — удаление опавших листьев и нижних ветвей и побегов — обрезка сучьев

Стратегии реабилитации впоследствии осуществлялись как на территории интенсивного контроля загрязнения, так и в особом районе дезактивации, и были достигнуты значительные успехи. К концу марта 2015 года была почти завершена дезактивация большей части территории интенсивного контроля загрязнения за пределами префектуры Фукусима (в около 80% муниципалитетов). На территории интенсивного контроля загрязнения в префектуре Фукусима дезактивировано около 90% общественных зданий и сооружений, 60% жилых зданий и 50% дорог [273].

В особом районе дезактивации в марте 2015 года планы дезактивации были завершены в четырех муниципалитетах (г. Тамура, деревня Каваути, поселки Нараха и Окума). Была закончена дезактивация жилых районов еще в двух муниципалитетах (деревня Кацурао и поселок Кавамата) и почти закончена в деревне Иитатэ [273]. В основном планы по дезактивации в зонах 1 и 2 районов, подлежащих дезактивации в префектуре Фукусима, по плану должны быть завершены до конца марта 2016 года, хотя некоторые работы будут продолжаться и в 2017 году (рис. 5.2).

Исследования, проведенные в жилых районах муниципалитетов Тамура и Нараха, показали, что в среднем мощность амбиентных доз гамма-излучения снизилась на 36% и 46% соответственно. Мощность доз гамма-излучения (см. вставку 5.1) определялась путем измерения мощности амбиентных доз на расстоянии 1 м от загрязненных поверхностей до и после работ по реабилитации. В среднем снижение мощности дозы в этих двух муниципалитетах после мероприятий по реабилитации земель фермерских хозяйств, лесов и дорог находилось в диапазоне от 21% до 44% [273].

Данные показывают, что снижение мощности амбиентных доз гамма-излучения имеет большее значение в районах с высокими первоначальными значениями мощности дозы. После реабилитации мощность доз гамма-излучения продолжала снижаться благодаря природным процессам выветривания и радиоактивного распада.

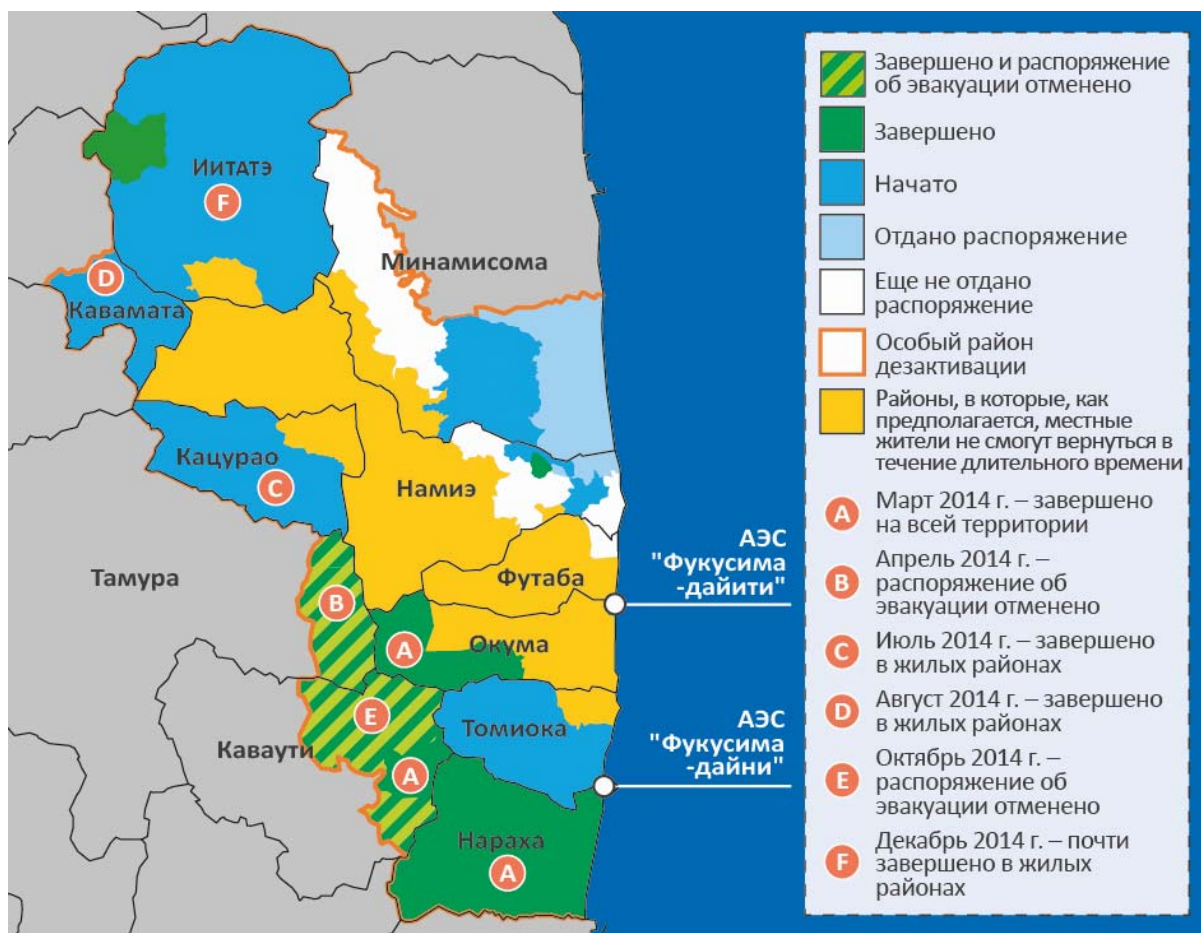


РИС. 5.2. Ход работ по реабилитации территорий в особых районах дезактивации до декабря 2014 года [273].

Примеры работ по реабилитации показаны на рис. 5.3.

Удельные затраты на работы по дезактивации в особых районах дезактивации, непосредственно контролируемые национальным правительством, составили от 1100 японских йен за кв.м (лесные массивы) до 5500 йен за кв. м (парки) [274].

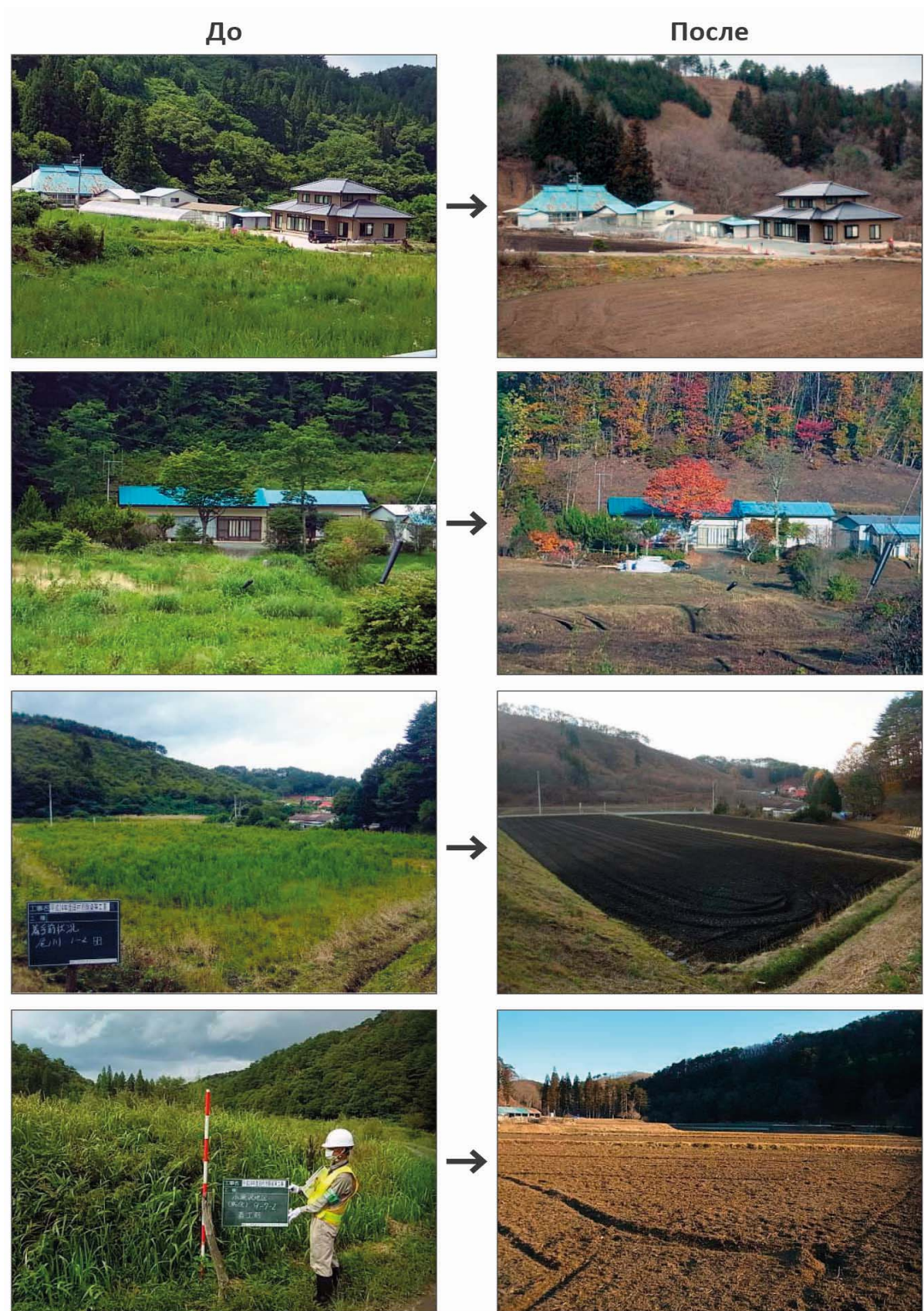


РИС. 5.3. Вид местности в г. Тамура до и после реабилитации (фотографии предоставлены министерством окружающей среды, Японии).

5.2. СТАБИЛИЗАЦИЯ СИТУАЦИИ НА ПЛОЩАДКЕ И ПОДГОТОВКА К ВЫВОДУ ИЗ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Компанией ТЕПКО совместно с соответствующими государственными учреждениями Японии был разработан комплексный высокоуровневый стратегический план стабилизации ситуации и вывода из эксплуатации поврежденной атомной электростанции. План впервые был опубликован в декабре 2011 года, а затем был пересмотрен с целью отражения накопленного опыта и уточненного состояния поврежденной атомной электростанции, а также масштаба будущих задач. Этот стратегический план учитывает сложный характер работ на площадке, и в нем излагаются: подход к обеспечению безопасности; меры по выводу из эксплуатации; системы и условия для облегчения работы; требования в отношении исследований и разработок.

На момент подготовки настоящего доклада функции безопасности были восстановлены, и конструкции, системы и элементы готовы надежно поддерживать стабильные условия на станции. Вместе с тем контроль за просачиванием подземных вод в поврежденные и загрязненные здания реакторов необходимо было продолжать. Радиоактивно загрязненная вода подвергалась обработке с целью максимально возможного удаления радионуклидов и была залита на хранение в более чем 800 цистернах. Необходимо найти более "устойчивые" решения, включающие все варианты, в том числе возможное возобновление контролируемых сбросов в море. Принятие окончательного решения потребует вовлечения в процесс консультаций соответствующих заинтересованных сторон и рассмотрения при этом социально-экономических условий, а также осуществления всеобъемлющей программы мониторинга.

Были разработаны планы обращения с отработавшим топливом и обломками топлива, и началось извлечение тепловыделяющих сборок из бассейна выдержки отработавшего топлива¹¹². Была разработана концептуальная модель будущих работ по извлечению обломков топлива, в которой предусматривалось множество необходимых предварительных шагов, в том числе визуальное подтверждение конфигурации и состава обломков. Высокие уровни доз излучения в поврежденных реакторах не позволили осуществить такое подтверждение на момент подготовки настоящего доклада.

По оценкам компетентных органов Японии время, необходимое для завершения всех работ по выводу из эксплуатации, скорее всего, составит 30-40 лет. Решения в отношении конечного состояния станции и площадки будут сформулированы в ходе дальнейшего анализа и обсуждений.

¹¹² Извлечение топлива из бассейна выдержки отработавшего топлива энергоблока 4 было завершено в декабре 2014 года.

Вставка 5.2. Стабилизация ситуации и послеаварийный вывод из эксплуатации

Термин «вывод из эксплуатации» означает административные и технические мероприятия, выполняемые в целях обеспечения возможности отмены некоторых или всех мер регулирующего контроля в отношении установки.

В практическом плане вывод из эксплуатации – это постепенное удаление конструкций, систем и элементов установки. В нормальных условиях вывод из эксплуатации АЭС является запланированным мероприятием, реализация которого начинается после принятия решения о прекращении эксплуатации. При послеаварийном выводе из эксплуатации предстоит решать ряд совершенно других задач: прежде всего следует определить состояние установок, топлива и оборудования станции и принять решение о дальнейших действиях. Это может потребовать разработки новых технологий и методологий.

Если останов реактора является следствием аварии, установку необходимо довести до безопасной конфигурации (стабилизировать), до того как начнется осуществление утвержденного окончательного плана вывода из эксплуатации. Стабилизация предусматривает ряд действий, необходимых для обеспечения того, что конструкции станции (такие, как здания, в которых расположены поврежденные реакторы), системы (такие, как системы электропитания) и элементы (такие, как насосы или электродвигатели) приведены в стабильное состояние и могут функционировать до тех пор, пока это требуется.

5.2.1. Стратегический план

После аварийной фазы ТЕРКО и соответствующие государственные учреждения разработали стратегический план – «Средне- и долгосрочную дорожную карту вывода из эксплуатации энергоблоков 1–4 АЭС “Фукусима-дайити”» – с целью стабилизации ситуации и проведения работ по выводу из эксплуатации. Впервые этот план был опубликован в декабре 2011 года и впоследствии был пересмотрен с учетом полученного опыта и более ясной картины ситуации на площадке [276]¹¹³. Это всеобъемлющий стратегический план высокого уровня для тех, кто руководит восстановительными работами. По оценкам компетентных органов Японии вывод из эксплуатации предполагалось завершить примерно за 30–40 лет.

В плане излагается стратегический подход в отношении следующих направлений работы.

- **Подход к обеспечению безопасности**, который включает стратегические цели – снижение рисков и оптимизацию извлечения топлива и обломков топлива.
- **Среднесрочные и долгосрочные меры в отношении вывода из эксплуатации**, которые включают планы извлечения топлива и обломков топлива из каждого реакторного блока. Эти планы являются достаточно гибкими, чтобы иметь дело с возможными различными состояниями, которые могут быть определены по мере накопления информации в процессе извлечения топлива и обломков топлива.

¹¹³ Предполагается, что «Дорожная карта» будет и далее пересматриваться по мере адаптации планов с учетом меняющихся условий и новой информации. В период подготовки окончательной версии настоящего доклада была издана третья редакция «Дорожной карты» (июнь 2015 года). В ней были изменены график работ и методы извлечения топлива и обломков топлива и уточнены подходы к уменьшению рисков, коммуникации с местными заинтересованными сторонами, снижению уровня облучения работников и организации НИОКР [277].

- **Системы и условия для облегчения работы**, с целью реализации которых компания ТЕПКО создала организацию для централизованного мониторинга состояния здоровья и доз облучения работников. Усилия по улучшению радиационной защиты персонала продолжались и были разработаны планы менеджмента и обеспечения наличия подготовленных работников в течение всего процесса вывода из эксплуатации.
- **Исследования и разработки**, которые необходимы, поскольку многие виды работ, предусматриваемых на АЭС «Фукусима-дайити», являются первыми в своем роде и будут зависеть от оборудования и технологий, которые еще предстоит разработать или впервые использовать в таких крупных масштабах. В целях разработки технологий вывода из эксплуатации ядерных объектов, содействия сотрудничеству с международными и внутригосударственными организациями по вопросам вывода из эксплуатации ядерных объектов и развития людских ресурсов в области исследований и разработок был создан Международный исследовательский институт по вопросам вывода из эксплуатации ядерных объектов.

5.2.2. Подготовка к выводу из эксплуатации

Вскоре после своего создания [278] УЯР разработало новую регулирующую основу для регулирования так называемых «испытанных стихийное бедствие» установок, в отношении которых необходимы особые меры для предотвращения дальнейших аварий и обеспечения физической ядерной безопасности. 7 ноября 2012 года УЯР классифицировало установки на АЭС «Фукусима-дайити» в качестве «определенных реакторных установок», т. е. установок, на которых произошла ядерная авария, и в отношении этих установок формулируются особые регулирующие положения, сообразные создавшейся на установке ситуации.

Такое определение позволило УЯР потребовать от компании ТЕПКО разработать план осуществления действий, изложенных в стратегическом плане [275]. Подготовленный компанией ТЕПКО План осуществления был представлен в декабре 2012 года [279] и впоследствии был утвержден. ТЕПКО несет ответственность за выполнение работ, определенных в Плане осуществления. Осуществление этих работ контролируется со стороны УЯР.

Кроме того, в феврале 2014 года УЯР разработало регулирующее требование в отношении контроля дополнительных эффективных доз на границе площадки, а в феврале 2015 года определило действия в документе «Меры по снижению риска на АЭС «Фукусима-дайити» компании ТЕПКО в среднесрочной перспективе» [280].

ТЕПКО обеспечила стабильное состояние установок на площадке для поддержания защиты и безопасности и создания условий для вывода из эксплуатации [275]. Были восстановлены и модернизированы важные функции поддержки, такие как нормальное и резервное электроснабжение. Были восстановлены также фундаментальные функции безопасности. Меры, обеспечивающие долгосрочную надежность стабильного состояния, включают:

- мониторинг состояний станции;
- охлаждение топлива и обломков топлива;
- сохранение ядерной подкритичности;

- контроль уровней водорода;
- обеспечение конструкционной устойчивости зданий реакторов;
- контроль проникновения воды в здания реакторов и предотвращение утечек в окружающую среду;
- обеспечение необходимого электроснабжения;
- обеспечение выполнения фундаментальных функций безопасности в течение длительного времени.

Восстановление и модернизация важных функций безопасности были произведены путем, например, установки нескольких аналогичных резервных устройств и замены и/или модернизации переносных и временных систем для наращивания стационарных. Ситуация на площадке остается сложной, поэтому для обеспечения постоянно стабильного состояния требовались тщательный мониторинг и контроль.

5.2.3. Обращение с загрязненной водой

Вода, которая поступает в поврежденные здания реакторов, становится загрязненной и представляет собой особо сложную проблему в связи с большими объемами этой воды. На момент подготовки настоящего доклада на АЭС «Фукусима-дайити» вода продолжала поступать в здания реакторов двумя способами: впрыскивание воды в активные зоны реакторов для охлаждения и проникновение грунтовых вод. Определение характеристик этой воды и обращение с ней по-прежнему оставались необходимыми требованиями (рис. 5.4).

До аварии для контроля уровня подземных вод из систем закрытого дренажа вокруг зданий энергоблоков 1-4 откачивалось примерно $850 \text{ м}^3/\text{сут}$ подземных вод, текущих со стороны гор к задней части площадки АЭС «Фукусима-дайити». В результате аварии системы закрытого дренажа и насосы, которые ранее обеспечивали способность зданий держаться на слабом грунте и предотвращали проникновение в них подземных вод, прекратили функционировать [281].

После аварии в здания стало поступать около 400 куб.м незагрязненной воды в сутки. Для охлаждения через реакторы энергоблоков 1-3 проходит примерно 400 куб.м воды в сутки. Проникающие в здания подземные воды смешиваются с циркуляционной водой, используемой для охлаждения реакторов, что в конечном итоге приводило к накоплению в зданиях около 800 куб.м. загрязненной воды в сутки, с которой требуется что-то делать. Примерно $400 \text{ м}^3/\text{сут}$ этой воды снова впрыскивается в реакторы для охлаждения топлива и обломков топлива, а оставшиеся $400 \text{ м}^3/\text{сут}$ хранились в баках для хранения загрязненной воды [276].

Вода проходила обработку с целью удаления радионуклидов, кроме трития, который невозможно удалить [282]. Обработанная вода хранится в 826 баках (по состоянию на 12 февраля 2015 года) [283].

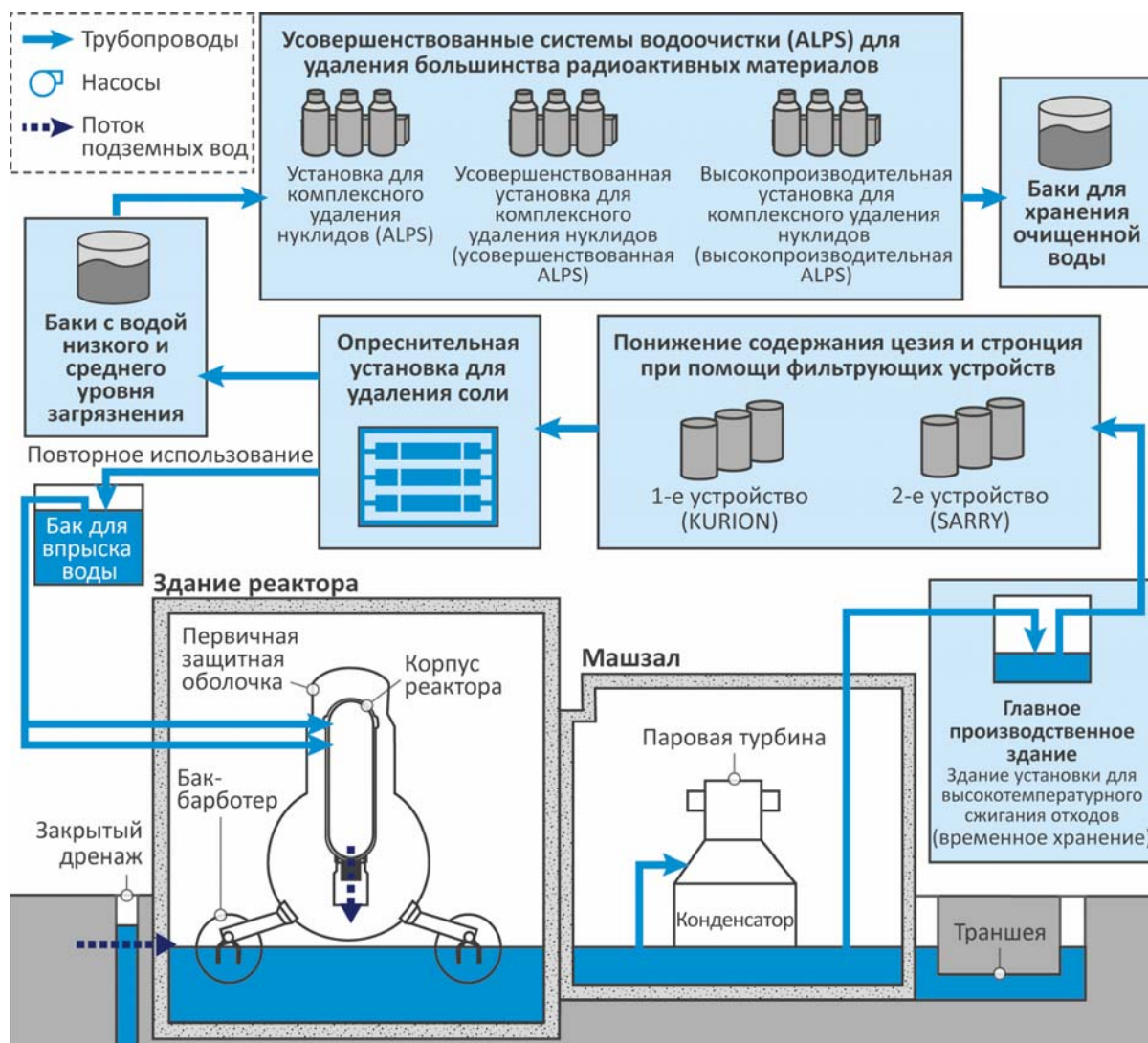


РИС. 5.4. Обращение с загрязненной водой на площадке [284].

Использовались или планируется использовать различные методы обращения с водой, включая совершенствование и установку дополнительных систем водоочистки и баков для хранения воды, восстановление системы дренажа и возведение непроницаемых стен со стороны моря. Незагрязненные подземные воды, текущие со стороны гор к поврежденным установкам, отводятся в сторону и сбрасываются в океан (рис. 5.5) [285]. Кроме того, строилась «замораживаемая» с помощью криогенной техники стена, целью которой является предотвращение проникновения воды в здания реакторов со стороны гор. Планировалось также строительство криогенной стены, отгораживающей здания реакторов со стороны моря.

В мае 2014 года после утверждения УЯР и получения разрешения от соответствующих заинтересованных сторон, включая префектуру Фукусима и представителей рыболовного промысла, компания ТЕПКО начала отводить и сбрасывать незагрязненные подземные воды прямо в море [285]. Эта мера уменьшила объемы воды, требующие очистки.

Крупные объемы загрязненной воды на площадке представляют собой ряд рисков. Из-за различного рода неисправностей баков, труб и клапанов или во время сильных дождей наблюдались утечки загрязненной воды из этих элементов. В некоторых случаях утечки приводили к сбросу радионуклидов в море. Выявление таких утечек

привело к активизации мониторинга как на площадке, так и в морской среде [287]. Хотя принимались меры по прекращению или уменьшению объема утечек, необходимо найти более надежные решения, в которых бы учитывались все варианты, в том числе возможное возобновление контролируемых сбросов в море. По результатам проведенных МАГАТЭ миссий по рассмотрению [288, 289] ТЕРКО было рекомендовано провести оценку потенциального радиологического воздействия сбросов в море воды, содержащей тритий и любые другие остаточные радионуклиды. Было также признано, что процесс принятия окончательного решения потребует участия заинтересованных сторон, в том числе представителей ТЕРКО, УЯР, правительства страны, правительства префектуры Фукусима, местных общин и других организаций, и что существует необходимость рассмотрения социально-экономических условий в процессе консультаций, а также осуществления всеобъемлющей программы мониторинга с целью обеспечения уверенности в отсутствии негативного воздействия на здоровье людей и окружающую среду [288, 289]. В этих обстоятельствах было бы полезно продолжить ориентирование по применению международного руководства по выбросам в послеаварийных ситуациях.



РИС. 5.5. Иллюстрация работ по обращению с водой: баки для хранения загрязненной воды показаны слева [286].

5.2.4. Извлечение отработавшего топлива и обломков топлива

Подготовка к выводу из эксплуатации поврежденных в результате аварии установок включает извлечение отработавшего топлива и свежих тепловыделяющих сборок из бассейнов выдержки, находящихся внутри поврежденных зданий реакторов. ТЕРКО начала извлечение топлива из внутреннего бассейна выдержки в здании реактора блока 4 и его перемещение в общий бассейн выдержки топлива в ноябре 2013 года. Эта операция была завершена в декабре 2014 года [290].

Для извлечения отработавших и свежих тепловыделяющих сборок из бассейнов выдержки на блоках 1-3 потребуется несколько лет. Более точная оценка необходимого для этой операции времени зависит от того, насколько быстро можно будет удалить обломки, образовавшиеся в результате взрывов, от подготовки доступа к конструкциям верхней части блоков 1-3, сооружения опорных устройств для удаления оборудования и конструкций, а также от других мер. Отработавшее топливо будет помещено в общий бассейн выдержки для временного хранения.

Удаление обломков расплавленного топлива из активной зоны реактора и обращение с ними является гораздо более сложной задачей. Визуальное подтверждение конфигурации и состава поврежденного в результате аварии топлива («обломков топлива») не представлялось возможным в связи с высокими уровнями доз излучения в поврежденных реакторах. Проведенные анализы показывают, что большая часть топлива в блоке 1 расплавилась и некоторая его часть проникла из нижней части корпуса реактора в первичную защитную оболочку, в то время как на блоках 2 и 3 топливо тоже расплавилось, но его значительная часть осталась внутри корпусов реакторов [9].

В момент составления настоящего доклада проводились финансируемые правительством Японии концептуальные исследования по вопросам доступа к обломкам топлива и их извлечения [276, 291]. Была разработана концептуальная модель будущих работ по извлечению обломков топлива, в которой учтено множество необходимых предварительных шагов, в том числе:

- 1) **Снижение уровней излучения в зданиях реакторов.** Доступ работников в здания реакторов затруднен из-за высоких уровней мощности дозы, а также большого количества скопившегося внутри мусора и радиоактивной пыли. Для обеспечения доступа необходима дезактивация, причем во многих местах с использованием дистанционно управляемого оборудования.
- 2) **Ремонт первичных защитных оболочек, в которых находится вода.** Будет проведено исследование наряду с разработкой необходимого оборудования с целью прекращения утечки воды из защитных оболочек, после чего будет установлен контроль уровней воды и их поддержание в тех пределах, которые необходимы для проведения последующих операций.
- 3) **Характеризация условий внутри первичных защитных оболочек.** Для извлечения обломков топлива потребуется определить точное местонахождение этих обломков. Будет разработано оборудование, позволяющее изучать условия внутри защитных оболочек, и получена необходимая информация о местах нахождения, распределении и форме обломков топлива.
- 4) **Характеризация условий внутри корпусов реакторов.** Это включает распределение обломков топлива, уровни радиоактивности и физическую конфигурацию поврежденных корпусов высокого давления.
- 5) **Разработка технологий извлечения обломков топлива.** Будут определены предварительные условия извлечения обломков топлива, обеспечивающие

возможность разработки технологий и оборудования для вскрытия реакторов, удаления затрудняющих доступ внутрь корпусов реакторов конструкций и извлечения обломков топлива.

- 6) **Обращение с водой.** По мере разработки концепции извлечения обломков топлива помимо охлаждения и борного регулирования будет необходимо четко осуществлять операции по обращению с водой. Например, потребуются дополнительные средства для удаления взвешенных в воде частиц, образующихся в ходе операций по извлечению обломков.
- 7) **Упаковка, перемещение и хранение обломков топлива.** После извлечения обломков из корпусов реакторов и первичных защитных оболочек будет необходимо поместить их в защищенные контейнеры. Затем будет необходимо переместить эти контейнеры из зданий реакторов в пункт промежуточного хранения на площадке АЭС «Фукусима-дайти», где они будут храниться до принятия окончательного решения об их утилизации.
- 8) **Меры по предотвращению ядерной критичности обломков топлива.** Будут проводиться оценки и осуществляться мониторинг в целях исключения любой возможности достижения ядерной критичности в массе обломков.
- 9) **Учет и контроль ядерного материала применительно к обломкам топлива.** В соответствии с соглашением между Японией и МАГАТЭ о применении гарантий и с внутригосударственным законодательством Японии требуется отчетность в отношении расщепляющегося материала. Поскольку в отношении обломков топлива применение стандартных методов не представляется возможным, меры по предоставлению отчетности будут определены до извлечения обломков из реакторов.

Обломки топлива будут извлекаться погруженными в воду с целью обеспечения защиты и минимизации радиоактивных выбросов в воздух. Высокие уровни излучения и загрязнения, а также отсутствие данных о распределении и свойствах обломков топлива предопределяют ведение большей части работ с использованием дистанционно управляемого оборудования. Стратегии извлечения обломков топлива будут необходимо корректировать по мере получения данных относительно состояния топлива и обломков топлива, и соответственно будут корректироваться планы по проектированию, конструированию и изготовлению соответствующего оборудования.

5.2.5. Конечное состояние вывода площадки из эксплуатации

В нормальных (неаварийных) условиях эксплуатации конечное состояние АЭС определяется и описывается в заявлении на выдачу лицензии и последующих подтверждающих документах. Обычно существуют две стратегии приведения станции в конечное состояние: немедленный демонтаж и отсроченный демонтаж, который иногда называют безопасным хранением. В исключительных обстоятельствах, например после ядерной аварии, можно также рассматривать вариант изоляции [292].

Ядерная авария может свести на нет предыдущие планы вывода из эксплуатации в связи, например, с необходимостью привести в стабильное состояние конструкции, системы и элементы перед тем, как начать разработку нового плана вывода из эксплуатации. Планы вывода из эксплуатации, способы извлечения обломков топлива и варианты окончательного конечного состояния зависят от характера аварии и в них должны учитываться данные о состоянии: остатков ядерных материалов, частиц и радиоактивных материалов, оставшихся в установках; находящихся на хранении отработавших тепловыделяющих сборок и обломков топлива; и находящихся на

хранении твердых радиоактивных отходов и очищенной воды [293]. Мнения заинтересованных сторон, полученные, например, на основе соответствующего процесса консультаций с общественностью, также будут оказывать влияние на планирование и осуществление вывода из эксплуатации.

Сейчас невозможно предсказать конечное состояние площадки АЭС «Фукусима-дайти» [291]. Следует отметить, что ни одна из трех станций в мире, топливо которых в ходе предыдущих аварий было наиболее сильно повреждено, до сих пор не была переведена в окончательное конечное состояние, пригодное для полного вывода из эксплуатации [293] (вставка 5.3).

Вставка 5.3. Статус вывода из эксплуатации поврежденных ядерных установок

Три установки, топливо которых в ходе предыдущих аварий было наиболее сильно повреждено – это Уиндскейл (Соединенное Королевство), Три-Майл Айленд (Соединенные Штаты Америки) и Чернобыль (бывший Советский Союз). Ниже приводится статус этих установок на время составления настоящего доклада.

Реактор «Уиндскейл-пайл», поврежденный в 1957 году, находился в состоянии «наблюдения и обслуживания» с планом его перевода в ближайшие несколько лет в состояние безопасного хранения, а окончательный вывод из эксплуатации запланировано начать около 2050 года.

Поврежденный в 1979 году блок АЭС «Три-Майл Айленд» находился в режиме безопасного хранения; полный демонтаж и реабилитацию площадки запланировано начать в пределах следующих 20 лет.

Четвертый энергоблок Чернобыльской АЭС, сильно поврежденный в результате аварии в 1986 году, находился в процессе перевода в состояние безопасного хранения; окончательный вывод из эксплуатации запланировано начать около 2050 года.

С тем чтобы достичь окончательного решения о конечном состоянии площадки АЭС «Фукусима-дайти», следует рассмотреть множество факторов, в том числе вопросы будущего использования земель, возможных доз облучения персонала, занятого в процессе вывода из эксплуатации, отходов, которые будут образовываться, и вариантов кондиционирования и захоронения отходов.

5.3. ОБРАЩЕНИЕ С ЗАГРЯЗНЕННЫМИ МАТЕРИАЛАМИ И РАДИОАКТИВНЫМИ ОТХОДАМИ

Стабилизация поврежденной АЭС и работы по дезактивации площадки и реабилитации прилегающих территорий приводят к образованию больших объемов загрязненных материалов и радиоактивных отходов. После различных восстановительных мероприятий на площадке образовались большие объемы загрязненных твердых и жидких материалов, а также радиоактивных отходов¹¹⁴. Обращение с такими материалами – с учетом их различных физических, химических и радиологических свойств – является весьма сложным и требует значительных усилий.

После аварии на АЭС «Фукусима-дайти» было трудно определить места для хранения крупных объемов загрязненных материалов, образовавшихся в результате проведения мероприятий по реабилитации за пределами площадки. В местных общинах было сооружено несколько сотен временных пунктов хранения. Продолжались работы по сооружению пункта промежуточного хранения.

¹¹⁴ Различие между загрязненными материалами и радиоактивными отходами зависит от радионуклидов и концентраций активности, связанных с материалами.

5.3.1. Обращение с отходами

Большие объемы отходов и мусора (так называемые «отходы, образовавшиеся в результате стихийных бедствий») образовались в результате землетрясения и цунами, некоторые из которых были загрязнены (в основном ^{134}Cs и ^{137}Cs) в результате выбросов из АЭС «Фукусима-дайти». Мероприятия по стабилизации ситуации на площадке увеличили инвентарное количество загрязненных материалов и твердых и жидких радиоактивных отходов, требующих контроля, а мероприятия по реабилитации за пределами площадки увеличили объем загрязненных материалов.

Вставка 5.4. Радиоактивные отходы

Радиоактивные отходы – это материал, никакое дальнейшее использование которого не предусматривается и который содержит радионуклиды с содержанием или концентрацией активности выше установленного уровня. Захоронение – это признанная на международном уровне конечная точка обращения с радиоактивными отходами. Однако часто приходится помещать некоторые радиоактивные отходы на хранение сроком на десятки лет, пока не будут разработаны надлежащие установки для захоронения. Определенные виды радиоактивных отходов (радиоактивные отходы низкой активности) могут захораниваться в пунктах приповерхностного захоронения отходов.

Обращение (т. е. операции по предварительной обработке, обработке, кондиционированию, перевозке, хранению и будущему захоронению) с большими объемами отходов с различными физическими, химическими и радиологическими свойствами является задачей, требующей больших усилий. Следовало разработать и/или модернизировать оборудование, планы действий и материально-техническую базу, что в сложившихся обстоятельствах усложнялось тем, что в результате землетрясения и цунами произошло разрушение инфраструктуры, а также высокими уровнями излучения. Было также необходимо внести поправки в законодательство и изменить принятый на национальном уровне подход в отношении обращения с отходами [124, 266, 278, 294].

5.3.2. Мероприятия за пределами площадки

Были начаты работы по реабилитации территорий за пределами площадки с целью снижения уровней внешнего облучения. Мероприятия по реабилитации включали удаление верхнего слоя почвы и растительности, а также дезактивацию общественных мест и жилых районов. Размеры территорий, подлежащих реабилитации, зависели от радиологических критериев и принятых уровней действий, что также повлияло на объемы загрязненных материалов, требующих обращения с ними.

В целом в результате установления низкого референтного уровня образуется большой объем загрязненных материалов. По имеющимся оценкам, объем почвы и других загрязненных материалов, образующихся в результате реабилитации после аварии составит приблизительно от 16 до 22 миллионов кубических метров после уменьшения общего объема за счет сжигания растений и деревьев [273].

Стадии процесса обращения с отходами в префектуре Фукусима показаны на рис. 5.6. Обращение с отходами, образовавшимися в ходе мероприятий по реабилитации, предусматривает их сбор в пунктах временного хранения рядом с местами для дезактивации. Были сооружены сотни пунктов временного хранения. После временного хранения эти отходы будут перевезены в пункт промежуточного хранения. Уровни загрязнения некоторых материалов являются достаточно низкими, что

позволяет использовать существующую инфраструктуру удаления твердых коммунальных отходов (т.е. муниципальные мусоросжигательные установки и мусорные свалки). Однако процесс получения разрешения муниципалитетов на использование обычных мусоросжигательных установок для уменьшения объема загрязненных за пределами площадки материалов оказывается весьма трудным.

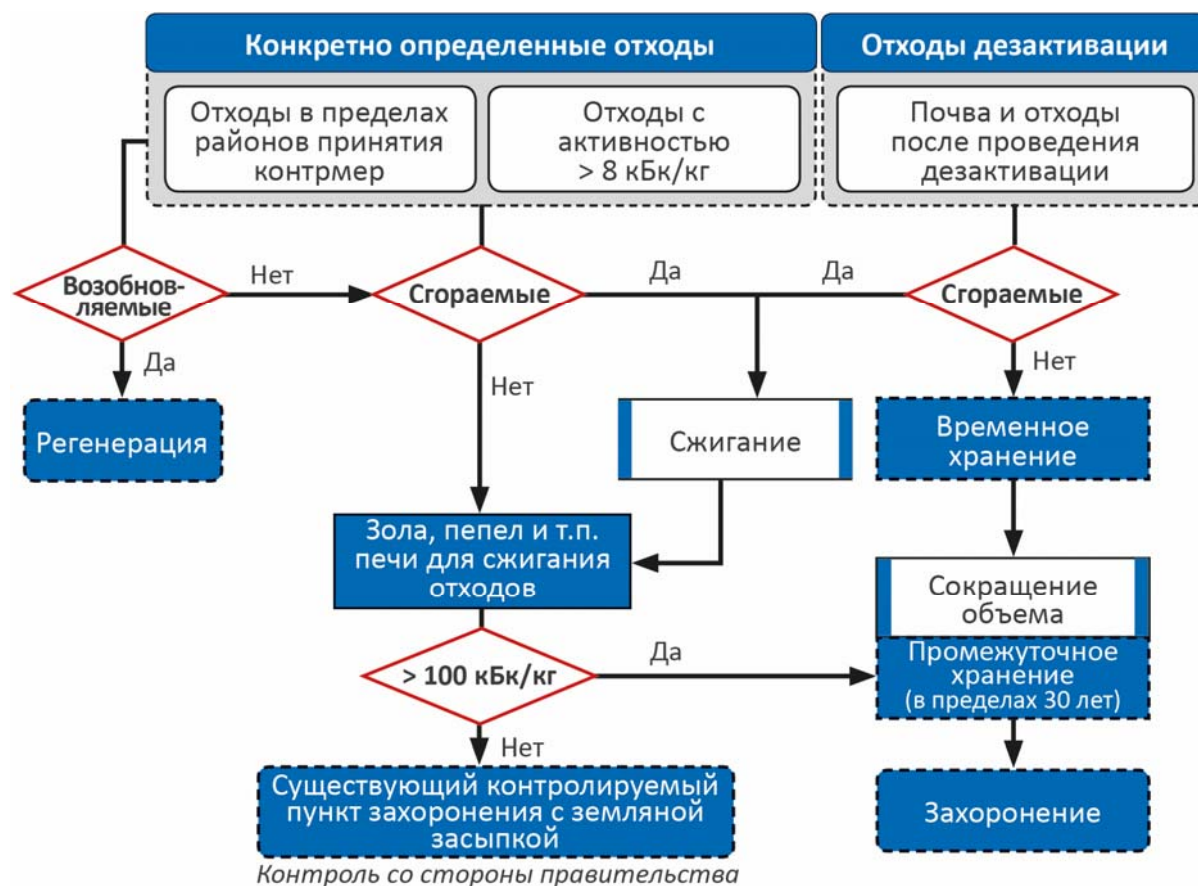


РИС. 5.6. Диаграмма, демонстрирующая процесс обращения с конкретно определенными отходами и отходами дезактивации в префектуре Фукусима [295].

Отмечались задержки с выбором площадки для пунктов временного и промежуточного хранения. Получение согласия местных жителей также являлось одной из причин задержек с выбором площадок. Однако после обсуждений с должностными лицами национального и местного правительств и с местными жителями и землевладельцами план строительства пункта промежуточного хранения был принят в декабре 2014 года в поселке Окума и в январе 2015 года в поселке Футаба. В январе 2015 года министерство окружающей среды подтвердило планы и договоренности о пробных перевозках загрязненной почвы в пункт промежуточного хранения начиная с марта 2015 года [273]; эти перевозки начались 13 марта 2015 года в экспериментальных целях.

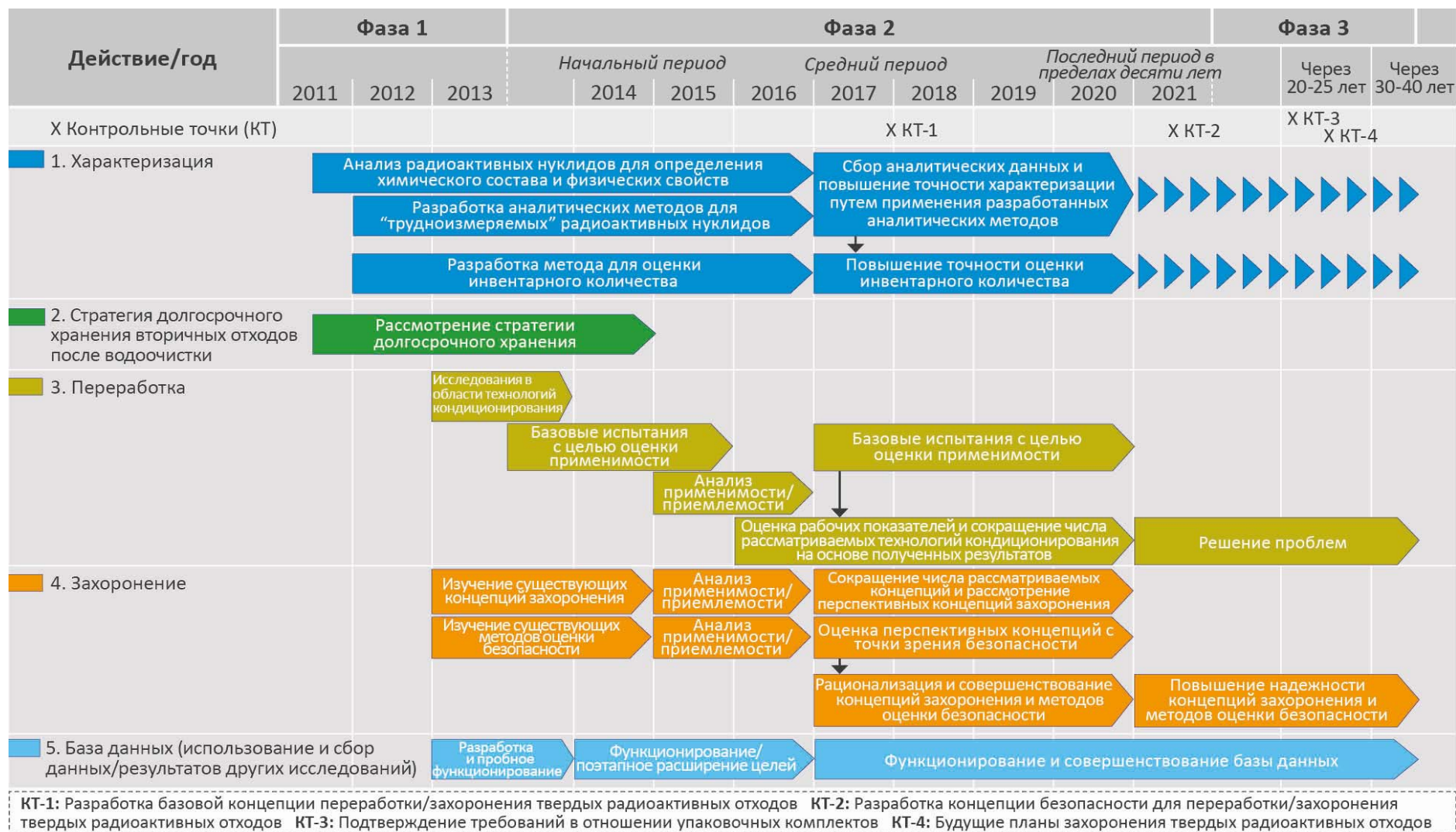


РИС. 5.7. Часть стратегии обращения с отходами на площадке [291].

5.3.3. Мероприятия на площадке

На площадке АЭС «Фукусима-дайити» большие объемы загрязненных твердых и жидких материалов, а также радиоактивных отходов образовались после проведения восстановительных мероприятий. Например, по состоянию на 30 ноября 2014 года на площадке хранилось 131 900 м³ загрязненных обломков и мусора и 79 700 м³ остатков деревьев [296, 297]. Образование таких крупных объемов загрязненных материалов и радиоактивных отходов вызвало необходимость разработки эффективных стратегий обращения с отходами. В частности, было необходимо разработать установки для обработки и хранения многих сотен тысяч кубических метров загрязненной и очищенной воды, а также твердых отходов, образовавшихся в ходе процессов обработки и очистки обширных земельных площадей. Частично стратегия обращения с отходами на площадке, включая оборудование для водоочистки и хранения воды, показана на рис. 5.7.

Существует постоянная необходимость увеличения емкостей для хранения потоков твердых и жидких отходов (рис. 5.8). В конечном итоге, сокращение объема отходов стало одним из важнейших аспектов обращения с отходами на площадке, например, путем исключения отходов, монтажа мусоросжигательных установок, а также повторного использования и регенерации материалов. Образование дополнительных объемов отходов ожидалось в ходе процесса вывода АЭС из эксплуатации [298]. Виды и объемы таких отходов будут зависеть от подхода, принятого в отношении вывода из эксплуатации.



РИС. 5.8. Аэроснимок баков для хранения воды на территории площадки [301].

Предпринимаются усилия по перемещению отходов за границу территории площадки, с тем чтобы ограничить предел мощности дозы на границе площадки на уровне менее 1 мЗв/год. Эти усилия не оказали воздействия на облучение населения, поскольку на границе площадки нет людей [299].

Обращение с отходами на площадке ставит множество сложных задач, требующих проведения дальнейших исследований и разработок. После появления новых возможностей будет необходимо рассмотреть вопрос о стратегии окончательной утилизации отходов на площадке, предусматривающей принятие решений на краткосрочную и долгосрочную перспективу [300].

5.4. ВОЗРОЖДЕНИЕ ОБЩИН И УЧАСТИЕ ЗАИНТЕРЕСОВАННЫХ СТОРОН

Ядерная авария и меры радиационной защиты, введенные во время аварийной фазы и на этапе послеварийного восстановления, оказали существенное влияние на образ жизни пострадавшего населения. Эвакуация и переселение, а также ограничения на потребление пищевых продуктов явились тяжелым испытанием для попавших в такое положение людей. Осуществляемые в префектуре Фукусима

проекты по возрождению и реконструкции были разработаны на основе понимания социально-экономических последствий аварии. В этих проектах охватываются такие вопросы, как реконструкция инфраструктуры, возрождение общин, а также поддержка и компенсация.

Информирование населения о восстановительных мероприятиях является важным средством укрепления доверия. Для эффективного общения с людьми экспертам необходимо понимать, какого рода информация требуется пострадавшему населению, и предоставлять понятную информацию с помощью соответствующих средств. После аварии эффективность связи с общественностью повысилась и пострадавшее население стало принимать все более активное участие в процессе принятия решений и в мероприятиях по реабилитации.

Авария и защитные меры, введенные на аварийной фазе и на фазе восстановления, оказали влияние на образ жизни населения пострадавших районов. К 30 января 2015 года число эвакуированных составляло около 119 тысяч человек по сравнению с пиковым периодом – около 164 тысяч – в июне 2012 года. Люди испытывают существенные трудности в связи с эвакуацией, переселением и ограничениями в отношении пищевых продуктов [268, 269].

Последствиями землетрясения, цунами и аварии явились: разрушение, деградация или ненадлежащее состояние инфраструктуры (в том числе школ, больниц и торговых предприятий); воздействие на деловую деятельность и торговлю; и демографические изменения в связи с эвакуацией большого числа людей. Сообщалось, что молодые семьи скорее всего останутся в эвакуации, а пожилые, по всей видимости, вернутся в свои дома [302]. В разработанных на национальном и местном уровнях планах восстановления и возрождения признается важность физической и социально-экономической реконструкции и охватываются такие вопросы, как реконструкция инфраструктуры, поддержка и выплата компенсации общинам [269].

Особенно острыми проблемами для людей, живущих в местах временного проживания, являются вопросы общего физического и психического здоровья и благосостояния, связанные с высоким уровнем безработицы и трудностями проживания в местах временного размещения [239]. Точных данных об общем числе людей, живущих в местах временного размещения в результате землетрясения, цунами и ядерной аварии, нет, однако к июню 2013 года было построено 16 800 временных домов/квартир для одной семьи и около 24 000 семей жили в помещениях, арендуемых правительством префектуры [269]. Кроме того, имелись планы строительства к 2015 году 2586 единиц постоянного социального жилья для людей, пострадавших от землетрясения и цунами. Для людей, эвакуированных в ходе реагирования на аварию, запланировано строительство 4890 единиц постоянного социального жилья [283].

5.4.1. Социально-экономические последствия

В результате эвакуации люди потеряли свои фермы и предприятия. Рыболовство в радиусе 30 км от площадки прекратилось (к концу сентября 2011 года эту зону уменьшили до 20 км). Прекратилась сельскохозяйственная и другая коммерческая деятельность на площади около 700 км² за пределами особого района дезактивации [269, 303, 304].

Социально-экономические последствия в сельскохозяйственном секторе и на других предприятиях также наблюдались за пределами особого района дезактивации и территории интенсивного контроля загрязнения. Помимо потери работы и жилья пострадавшими социально-экономические последствия имеют также ограничения в отношении пищевых продуктов, прекращение экспорта продовольствия и потребительских товаров, затраты на мониторинг для подтверждения соответствия радиологическим критериям и выплаты компенсации пострадавшим. Косвенные социально-экономические последствия включают потерю доверия со стороны потребителей – не только в отношении продовольствия, но также в отношении потребительских товаров из пострадавших районов и находящихся там предприятий [269, 303, 305].

Сочетание таких событий, как землетрясение, цунами и ядерная авария, нанесло прямой удар по экономике Японии. В апреле 2011 года объем экспорта сократился на 2,4% по сравнению с уровнем, зафиксированным в апреле 2010 года. В то же время возрос импорт, в особенности топлива, химической продукции и продовольствия, что привело к дефициту торгового баланса в апреле и мае 2011 года [303]. Во время составления настоящего доклада сохранялись высокие объемы импорта органических видов топлива [306].

Хотя во время аварии Япония не являлась участником какой-либо из конвенций о гражданской ответственности за ядерный ущерб (она присоединилась к Конвенции о дополнительном возмещении за ядерный ущерб (КДВ) 15 января 2015 года), вступившее в силу в 1961 году законодательство соответствовало основным принципам ядерной ответственности, содержащимся в этих конвенциях. В рамках этого законодательства компания ТЕПКО несет исключительную ответственность за ядерный ущерб, причиненный аварией на АЭС «Фукусима-дайити» [307]. Сумма этой ответственности не ограничена. После аварии правительство и парламент не освободили ТЕПКО от ответственности на основании того, что статья об освобождении от ответственности, касающаяся тяжелого стихийного бедствия, в Законе о возмещении за ядерный ущерб в данном случае не применима. Были использованы различные средства, с тем чтобы ТЕПКО смогла выполнить свои обязательства перед жертвами аварии, включая временные выплаты компенсации в качестве чрезвычайной меры, оказание ТЕПКО финансовой поддержки со стороны Корпорации по содействию возмещению ядерного ущерба и выводу из эксплуатации (NDF), которая стала держателем контрольного пакета акций ТЕПКО. Кроме того, создание Комитета по урегулированию споров в отношении возмещения за ядерный ущерб и выпуск не имеющих обязательной юридической силы руководящих принципов обеспечили механизм оперативного внесудебного урегулирования вопросов возмещения за ядерный ущерб.

Установленная политика возмещения ущерба применяется не только в отношении тех, кого пришлось эвакуировать в обязательном порядке, но также охватывает вопросы воздействия на источники существования и образ жизни, потери прибыли в связи с введенными ограничениями, потери доверия у потребителей и изменения инфраструктуры для людей, оставшихся в этих районах. Кроме того, имеются конкретные положения для родителей с маленькими детьми и беременных женщин [308].

В соответствии с руководящими принципами, утвержденными в декабре 2011 года, жители, подлежавшие эвакуации, получали компенсацию порядка 100 000 йен на человека в месяц. Дополнительная сумма в размере около 900 000 йен будет выплачена тем, кто вернулся жить в пострадавшие районы в течение года после отмены распоряжения об эвакуации [309].

5.4.2. Возрождение

При поддержке правительства и местных органов власти был осуществлен ряд инициатив по активизации возрождения нормальной жизни в префектуре Фукусима. Они включают реконструкцию инфраструктуры, жилья и транспортных сообщений. Осуществляются меры, направленные на восстановление доверия к местным продуктам, содействуя тем самым укреплению собственного достоинства и развитию туризма. Учитывая тот фактор, что наличие работы и возможность устроиться на работу также являются одним из побудительных мотивов возвращения местных жителей (или притока новых жителей), другие инициативы касаются восстановления существовавших предприятий и создания новых коммерческих структур.

Инициативы по возрождению и реконструкции связаны с восстановительными мероприятиями – от поддерживаемых на уровне правительства страны до инициатив, исходящих от неправительственных организаций и местных общин. Правительство Японии учредило Агентство реконструкции; префектура Фукусима начала реализацию различных мероприятий, в том числе создало Центр возрождения окружающей среды [234, 269]; и 2013 году ТЕПКО организовала Штаб возрождения префектуры Фукусима. Все проекты имеют целью объединить меры радиационной защиты с более широкими социальными аспектами, такими, как возрождение инфраструктуры и участие в мероприятиях населения, а также с вопросами возмещения (как в случае со Штабом возрождения) [310].

В различных префектурах проходят разные мероприятия, часто зависящие от участия в них местных руководителей и неоднородного характера задач, стоящих перед ними. Примеры успешных инициатив по возрождению включают сотрудничество между производителями и дистрибьюторами персиков и пищевой промышленностью в деле восстановления доверия населения к пищевым продуктам, производимым в префектуре Фукусима [269, 311].

5.4.3. Участие заинтересованных сторон и связь с ними

Степень участия заинтересованных сторон возросла, и в ходе мероприятий по реабилитации и восстановлению совершенствовались стратегии консультаций и привлечения к участию. В ходе реагирования на аварию появился ряд примеров, которые показывают преимущества привлечения пострадавшего населения к реализации мер по восстановлению – от консультаций и диалога до участия в работах по реабилитации (так называемой «самопомощи»).

Открытая и эффективная связь с населением является необходимым элементом процесса возрождения. В январе 2012 года в г. Фукусима был открыт информационный центр для района дезактивации (Информационный центр по дезактивации), являющийся совместным проектом префектуры Фукусима и министерства окружающей среды [312].

Другие мероприятия в рамках информационно-просветительской работы на местном уровне включают диалоги между экспертами и населением и консультации по конкретным мерам взаимопомощи. Эти мероприятия помогли восстановлению общения с жителями префектуры Фукусима и их доверия.

На рис. 5.9 показана диаграмма процесса реабилитации и соответствующее взаимодействие с заинтересованными сторонами. Все этапы разработки планов и их осуществления проводились с участием заинтересованных сторон и в консультациях с ними. В случае реабилитации земель, находящихся в частном владении, до начала любых работ по реабилитации требовалось согласие землевладельцев.

Средства массовой информации как в традиционных, так и в новых формах играют важную роль в вопросе общения с населением в случае возникновения ядерной аварии. Авария на АЭС «Фукусима-дайити» активно освещалась в средствах массовой информации, в интернете, социальных сетях и на начальной фазе постоянно фигурировала в радио- и телепередачах. Активное освещение аварии длилось несколько месяцев с уделением основного внимания проблемам, связанным с ситуацией на аварийной площадке, но также защитным мерам, принимаемым компетентными органами Японии. В социальных сетях широко комментировали события, связанные с аварией, а также распространяли мнения отдельных лиц и неправительственных организаций. Имелось значительное количество информации, но разного качества и степени достоверности [310].

Экспертам в области радиационной безопасности было необходимо узнать, какого рода информацию от них ждало население, и предоставлять ее в понятном виде. Критические вопросы, задаваемые затронутыми аварией группами населения и средствами массовой информации в основном касались того, какие уровни излучения «безопасны» [314].



РИС. 5.9. Диаграмма процесса реабилитации и консультаций с местными жителями [313].

5.5. ЗАМЕЧАНИЯ И УРОКИ

В результате оценки послеаварийных мероприятий был сформулирован ряд замечаний и уроков.

- **Необходимо осуществлять заблаговременное (до аварии) планирование мероприятий по послеаварийному восстановлению с целью повышения эффективности принятия решений в напряженной обстановке сразу после того, как произошла авария. Национальные стратегии и меры послеаварийного восстановления должны быть подготовлены заранее, с тем чтобы в случае ядерной аварии можно было сразу же привести в действие эффективную и соответствующую ситуации комплексную программу восстановления. В эти стратегии и меры следует включать вопросы создания правовой и регулирующей основы; типовые стратегии и критерии реабилитации в отношении остаточных доз излучения и уровней загрязнения; план по стабилизации ситуации и выводу из эксплуатации поврежденных ядерных установок; типовую стратегию обращения с большими объемами загрязненных материалов и радиоактивных отходов.** Ниже приведены элементы этих стратегий и мер.

- Создание правовой и регулирующей основы, в рамках которой распределяются функции и обязанности различных участвующих учреждений. В рамках этой основы следует охватить вопросы реабилитации территорий за пределами площадки, стабилизации ситуации на площадке и подготовки к выводу из эксплуатации, обращения с загрязненными материалами и радиоактивными отходами, возрождения общин и участия заинтересованных сторон.

- Типовые стратегии и критерии реабилитации (референтные уровни и установленные уровни действий) в отношении остаточных доз излучения и уровней загрязнения.
 - План стабилизации состояния поврежденной ядерной установки на площадке и подготовки к ее выводу из эксплуатации.
 - Разработка типовой стратегии обращения с большими объемами загрязненных материалов и радиоактивных отходов, подкрепленной типовыми оценками безопасности пунктов хранения и захоронения.
 - Достаточная гибкость для обеспечения того, чтобы управление послеаварийными условиями можно было корректировать в соответствии с изменением условий и накопленной информацией и опытом.
- **В стратегиях реабилитации необходимо учитывать степень эффективности и осуществимости отдельных мер и объемы загрязненных материалов, которые будут образовываться в процессе реабилитации.**
- После установления референтных уровней в отношении остаточных доз излучения и уровней загрязнения необходимо тщательно контролировать объемы загрязненных материалов, образующихся в ходе осуществления стратегии реабилитации, с тем чтобы минимизировать объем подлежащих обращению отходов. Отсутствие подготовительных мероприятий к восстановлению после ядерной аварии в Японии выразилось в том, что на начальном этапе образовались большие объемы потенциально загрязненных материалов.
- Со временем и после разработки планов работы по реабилитации были оптимизированы, что привело к установлению более эффективного контроля в отношении объемов подлежащих обращению отходов.
- Пилотные проекты оказались полезными с точки зрения определения эффективности отдельных методов реабилитации и объемов отходов, образующихся при применении этих методов. Пилотные проекты также внесли свой вклад в разработку процедур радиационной защиты персонала.
- **В рамках стратегии реабилитации должны проводиться строгие проверки пищевых продуктов и необходим соответствующий контроль с целью предотвращения или сведения к минимуму доз, поступающих пероральным путем.**
- Систематическое проведение строгих проверок пищевых продуктов и их контроль после аварии показали, что пероральные дозы можно удерживать на низких уровнях.
- С целью укрепления доверия к пищевым продуктам местного производства были организованы станции мониторинга (дозиметрического контроля), что позволило жителям пострадавших районов приносить пищевые продукты для измерения. Контроль доз, поступающих пероральным путем, упростил процесс восстановления, поскольку это позволило в процессе реабилитации сконцентрировать внимание на вопросах снижения доз внешнего облучения.
- **Необходимо разработать дополнительные международные руководства по вопросам практического применения норм безопасности в области радиационной защиты в послеаварийных условиях восстановления.**
- Необходимы дополнительные практические руководящие материалы по применению норм безопасности МАГАТЭ в ситуациях существующего облучения. Референтные уровни, принятые для первых лет после аварии, следует периодически пересматривать и соответствующим образом изменять по мере изменения радиологических условий. В эти руководства следует включить

описание методологии выбора референтных уровней в зависимости от конкретной обстановки и площадки с точки зрения величин доз и производных величин, а также механизма интеграции научно-технической экспертизы с другими – социально значимыми – факторами с целью построения согласованного, прозрачного и коллегиально принятого процесса принятия решений.

- **После аварии для восстановления площадки необходимо разработать стратегический план долгосрочного поддержания стабильного состояния поврежденных в ходе аварии установок и их вывода из эксплуатации. Этот план должен быть гибким и легко корректируемым в связи с изменением условий и получением новой информации.**

Подготовка к выводу из эксплуатации поврежденных в ходе аварии установок прежде всего предусматривает стабилизацию ситуации для обеспечения того, чтобы имеющиеся конструкции, системы и элементы надежно поддерживали стабильное состояние станции в течение длительного времени – до тех пор, пока существует необходимость в их функционировании. Послеаварийная подготовка к выводу из эксплуатации занимает десятилетия. Необходимо принять меры к тому, чтобы обеспечить наличие соответствующих экспертных знаний и подготовленных работников в течение всего этого периода.

В процесс принятия решений о промежуточных этапах вывода из эксплуатации и о конечных состояниях площадки и поврежденных реакторов необходимо включить диалог с заинтересованными сторонами. Принятие решения о выводе из эксплуатации зависит от состояния поврежденных реакторов, топлива и обломков топлива, которое невозможно определить в период непосредственно после аварии. Факторы, которые следует учитывать в процессе принятия решения, включают: уровни дозы для работников при выводе из эксплуатации; объемы и виды образующихся отходов; и усилия, необходимые для водоочистки. На ранней стадии очистки нереалистично прогнозировать конечное состояние площадки станции, но в процессе принятия решения необходимо учесть намерения и планы в отношении использования земель.

- **Для извлечения поврежденного топлива, а также характеристики и извлечения обломков топлива необходимо будет разработать решения, предназначенные специально для данной аварии, и потребуются особые методы и средства специально для данной цели.**

Любая авария на реакторе с повреждением ядерного топлива в результате приводит к определенному состоянию реактора, присущему только этой аварии. Извлечение разрушенных твэлов и обломков из расплавленного топлива и последующее обращение с ними являются сложными задачами. Необходимо определить характеристики обломков, извлечь их, упаковать и поместить на хранение до захоронения, и все это придется осуществлять в тяжелых условиях, связанных в основном с высокими уровнями излучения.

- **В национальные стратегии и меры послеаварийного восстановления должна быть включена разработка типовой стратегии обращения с загрязненными жидкими и твердыми материалами и радиоактивными отходами, подкрепленной типовыми оценками безопасности применительно к их сбросу, хранению и захоронению.**

Стратегия обращения с отходами необходима для реализации обращения (например, перемещение, обработка, кондиционирование и хранение) с образовавшимися в результате аварии загрязненными материалами и радиоактивными отходами перед их захоронением. Она также необходима для определения целесообразных способов утилизации материалов. Стратегии

обращения с отходами могут включать использование существующих установок для обработки, хранения и утилизации, такие, как мусоросжигательные установки или свалки с контролем продуктов выщелачивания. Однако в зависимости от объемов и характеристик образующихся отходов могут потребоваться и другие подходы. Разработку таких стратегий можно подкрепить разработкой типового обоснования безопасности.

Необходимы также стратегии обращения с большими объемами загрязненной воды, включая ее контролируемые выбросы в окружающую среду. Хотя существует международное руководство по выбросам при нормальной эксплуатации ядерных установок, необходимы дополнительные указания по его применению в послеаварийных ситуациях.

- **Необходимо признавать социально-экономические последствия любой ядерной аварии и последующих защитных мер и разрабатывать проекты возрождения и реконструкции, в рамках которых решать такие вопросы, как реконструкция инфраструктуры, возрождение общин и возмещение ущерба.**

Ядерные аварии и защитные и восстановительные меры, вводимые на аварийной фазе и на фазе послеаварийного восстановления с целью снижения доз, имеют далеко идущие последствия для образа жизни населения пострадавших районов. Крайне важным является привлечение заинтересованных сторон к работе на всех стадиях реабилитации и восстановления.

- **Поддержка со стороны заинтересованных сторон необходима в отношении всех аспектов послеаварийного восстановления. В частности, участие пострадавшего населения в процессах принятия решений необходимо для обеспечения успеха, приемлемости и эффективности восстановления и для целей возрождения общин. Эффективная программа восстановления требует доверия и участия пострадавшего населения. Доверие к осуществляемым восстановительным мерам следует укреплять путем налаживания процесса диалога, предоставления последовательной, ясной и своевременной информации, а также посредством оказания поддержки пострадавшему населению.**

Правительству необходимо представить населению реалистичное, то есть последовательное, ясное и своевременное описание программы восстановления. С тем чтобы охватить все заинтересованные группы населения, правительству необходимо использовать различные информационные каналы, включая социальные сети.

Восприятия радиационных рисков и ответы на вопросы о «безопасных» уровнях излучения не однозначны, а многогранны, и имеют, кроме прочего, научную, социальную и этическую стороны. Такие ответы следует четко доводить до сведения соответствующих аудиторий через образовательные программы – в идеале до возникновения аварии.

Важно, чтобы пострадавшее население получало поддержку в ходе местных усилий по восстановлению. Поддержка мер самопомощи, связанных с реабилитацией и возобновлением работы предприятий, могут повысить степень участия в реализации программы восстановления и вновь завоевать доверие пострадавшего населения.

6. РЕАГИРОВАНИЕ МАГАТЭ НА АВАРИЮ

В данном разделе представлен общий обзор ключевой деятельности МАГАТЭ после аварии на АЭС «Фукусима-дайити» как на первоначальной фазе непосредственно после аварии, так и в долгосрочной перспективе. Он охватывает деятельность на начальном этапе, миссии МАГАТЭ в Японию, конференции по ядерной безопасности на уровне министров и План действий МАГАТЭ.

МАГАТЭ является депозитарием Конвенции о ядерной безопасности, и его роль заключается в выполнении функций Секретариата для совещаний договаривающихся сторон, созывая, готовя и обслуживая эти совещания, а также препровождая договаривающимся сторонам соответствующую информацию. Деятельность, относящаяся к совещаниям договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности, состоявшимся после аварии на АЭС «Фукусима-дайити», также представлена в данном разделе.

6.1. ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МАГАТЭ

6.1.1. Деятельность на начальном этапе

Ответственность за реагирование на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию и за защиту работников, населения и окружающей среды на уровне соответствующей установки лежит на эксплуатирующей организации, а на местном, региональном и национальном уровнях – на государстве, которое подвергается воздействию этой ситуации.

МАГАТЭ играет центральную роль в международной системе аварийной готовности и реагирования¹¹⁵. Эта роль включает: 1) оповещение и официальный обмен информацией через официально назначенные пункты связи; 2) предоставление своевременной, ясной и понятной информации; 3) предоставление по запросу и содействие предоставлению международной помощи; и 4) координацию межучрежденческого реагирования¹¹⁶.

МАГАТЭ выполняет эти функции через свою систему по инцидентам и аварийным ситуациям (СИАС). Эта система включает действующий на круглосуточной основе пункт связи и оперативный координационный центр – Центр по инцидентам и аварийным ситуациям (ЦИАС).

¹¹⁵ Международная система аварийной готовности и реагирования во время аварии включала: а) международно-правовые документы и соглашения, в частности Конвенцию об оперативном оповещении о ядерной аварии (Конвенция об оповещении) и Конвенцию о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации (Конвенция о помощи); б) нормы безопасности и технические руководящие материалы МАГАТЭ в области аварийной готовности и реагирования; и с) международные оперативные меры и средства, в частности Техническое пособие по оповещению и оказанию помощи в аварийных ситуациях (ENATOM), Сеть реагирования и оказания помощи МАГАТЭ (РАНЕТ) и План международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями (Совместный план).

¹¹⁶ Основной межучрежденческий координационный орган в отношении ядерных и радиологических аварийных ситуаций – это Межучрежденческий комитет по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям (ИАКРНЕ). Этот орган был учрежден после аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 году, и в настоящее время в него входят 18 международных организаций. Одна из главных функций ИАКРНЕ – разработка и обеспечение Плана международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями (Совместного плана-2010 в момент аварии).

В 06:42 ВКВ¹¹⁷ 11 марта 2011 года МАГАТЭ активизировало СИАС после переданного Международным центром сейсмической безопасности МАГАТЭ оповещения. В нем сообщалось о произошедшем землетрясении, возможности повреждений на четырех АЭС¹¹⁸ на северо-восточном побережье Японии, а также о риске возникновения цунами [143]. В 07:21 ВКВ МАГАТЭ установило первоначальный контакт с официальным пунктом связи, назначенным Японией в соответствии с Конвенцией об оперативном оповещении и Конвенцией о помощи.

В первые дни аварии стало очевидным, что реакторы и топливо в бассейнах выдержки отработавшего топлива на АЭС «Фукусима-дайити» могут находиться под угрозой серьезного повреждения. В связи с этим Агентство организовало группы для оценки ключевых проблем ядерной и радиационной безопасности. Лаборатории МАГАТЭ¹¹⁹ анализировали предоставляемые компетентными органами Японии данные мониторинга морской среды и получали пробы земной среды для проведения независимого анализа.

Для проведения консультаций высокого уровня Генеральный директор с 17 по 19 марта посетил Токио, чтобы выразить солидарность со стороны международного сообщества и его полную поддержку Японии в деле преодоления последствий землетрясения, цунами и ядерной аварии, а также передать предложения об оказании помощи, поступившие от десяти с лишним стран. Генеральный директор обсудил также возможность предоставления или координации какой-либо конкретной помощи со стороны МАГАТЭ, такой как миссии экспертов и миссии по установлению фактов, и подчеркнул важность прозрачности и своевременного предоставления Японией официальной информации.

28 марта на специальном брифинге об аварии для государств – членов МАГАТЭ Генеральный директор объявил о проведении в Вене до лета конференции МАГАТЭ высокого уровня по ядерной безопасности. Он заявил, что «для нас существенно важно извлечь правильные уроки из того, что произошло 11 марта и после, чтобы повысить ядерную безопасность во всем мире» [315].

В период между 18 марта и 18 апреля Агентство по просьбе Японии направило в Японию четыре группы по радиологическому мониторингу с целью оказания помощи в подтверждении результатов более обширных измерений, проведенных японскими компетентными органами. Эти группы провели измерения на ряде объектов внутри и снаружи 20-километровой зоны эвакуации вокруг АЭС «Фукусима-дайити» и в окрестностях Токио. Один из руководящих сотрудников МАГАТЭ был направлен в Японию для координации соответствующей деятельности МАГАТЭ и передачи предложений об оказании помощи, поступающих от государств-членов, японским компетентным органам. В Токио были направлены сотрудники МАГАТЭ по связи с целью облегчения и улучшения связи с регулирующим органом Японии – в то время это было АЯПБ.

¹¹⁷ Всемирное координированное время (ВКВ) на девять часов отстает от японского поясного времени.

¹¹⁸ «Фукусима-дайити» и «Фукусима-дайни» Токийской электроэнергетической компании (ТЕПКО), «Онагава» (Энергетическая компания Тохоку) и «Токай» (Японская ядерно-энергетическая компания).

¹¹⁹ Лаборатории МАГАТЭ, расположенные в Зайберсдорфе, Австрия, и Монако, специализируются на оценке проб земной и морской сред соответственно.

С 26 по 31 марта Японию посетила совместная группа по оценке безопасности пищевых продуктов, состоящая из представителей МАГАТЭ и ФАО. Группа провела консультации и оказала компетентным органам на национальном и местном уровне помощь по техническим вопросам, связанным с обеспечением безопасности пищевых продуктов и принятием сельскохозяйственных контрмер. Были проведены консультации по отбору проб и применению аналитических стратегий и толкованию данных мониторинга, с тем чтобы обеспечить предоставление надежной, непрерывно обновляемой информации о степени загрязнения пищевых продуктов в пострадавших районах. Эти данные были использованы для разработки компетентными органами Японии стратегий смягчения последствий и восстановления.

Группа экспертов МАГАТЭ в области кипящих реакторов была направлена в Японию 3 апреля и завершила свою работу 12 апреля. Группа посетила площадки АЭС «Фукусима-дайити» и АЭС «Фукусима-дайни» и провела встречи с персоналом станций, с тем чтобы получить более полное представление об аварии, принятых к этому времени мерах по смягчению последствий и обосновании принятых к этому времени главных решений. Члены группы провели также совещания с представителями ряда правительственных учреждений и подробные технические обсуждения с сотрудниками ТЕПКО и АЯПБ в Токио.

Первое заявление МАГАТЭ в отношении аварии было выпущено менее чем через три часа после землетрясения 11 марта. Затем в этот же день было опубликовано еще пять заявлений с информацией, полученной из Японии. До 22 апреля 2011 года было опубликовано более 120 обзоров обновленной информации. С 14 марта по 2 июня 2011 года МАГАТЭ провело 16 пресс-конференций помимо тех, которые проводились во время визита Генерального директора в Японию. Деятельность МАГАТЭ по информированию общественности также включала ответы на тысячи телефонных звонков и подробные технические ответы на сотни запросов, поступающих от средств массовой информации.

МАГАТЭ размещало на своем внешнем веб-сайте ежедневные брифинги для государств-членов и населения. В этих брифингах содержались данные о положении дел на блоках 1-6 АЭС «Фукусима-дайити»; данные радиационного мониторинга таких радионуклидов, как йод-131, цезий-134 и цезий-137; результаты радиационного мониторинга пищевых продуктов и информация об ограничениях распределения и потребления продовольствия и питьевой воды; а также данные мониторинга морской среды. МАГАТЭ также организовывало брифинги об аварии для постоянных представительств государств – членов МАГАТЭ в Вене.

6.1.2. Миссии МАГАТЭ в Японию

На основе соглашения с правительством Японии с 24 мая по 2 июня 2011 года была проведена международная миссия экспертов по установлению фактов в составе экспертов из МАГАТЭ и государств-членов. В ходе миссии была собрана информация для предварительной оценки аварии на АЭС «Фукусима-дайити» и событий на других площадках («Фукусима-дайни» и «Токай-дайни»). Кроме того, были определены общие вопросы безопасности, связанные с природными явлениями, требующие дальнейшего исследования или оценки на основе норм безопасности МАГАТЭ.

В сферу охвата миссии входили такие вопросы, как: внешние события природного происхождения; оценка безопасности станции и применение глубоководной защиты; принятые на станции меры реагирования после землетрясения и цунами; управление тяжелой аварией; обращение с отработавшим топливом на сильно поврежденной установке; аварийная готовность и реагирование; и радиологические последствия. В отчете миссии [34] были сформулированы 15 выводов и 16 уроков, которые были представлены на Конференции МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров в июне 2011 года.

Информация о других миссиях МАГАТЭ в Японию приведена в таблице 6.1.

После рекомендации второй миссии по выводу из эксплуатации началось осуществление проектов по повышению прозрачности и представлению независимых оценок проводимого Японией мониторинга морской среды. В Лабораториях окружающей среды МАГАТЭ в Монако были проведены аттестационные испытания в целях контроля показателей деятельности и аналитического потенциала участвующих лабораторий. Результаты программы мониторинга морской среды регулярно обновляются на веб-сайте МАГАТЭ.

6.1.3. Конференция МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров

В июне 2011 года Генеральный директор созвал в Центральном учреждении МАГАТЭ Конференцию по ядерной безопасности на уровне министров с целью повышения ядерной безопасности на основе уроков, извлеченных из аварии. Конференция предоставила возможность провести на уровне министров и ведущих технических экспертов предварительную оценку аварии. На конференции были также рассмотрены меры по повышению безопасности, вопросы, касающиеся аварийной готовности и реагирования, и последствия для глобальной системы ядерной безопасности.

Итогом конференции явилось Заявление министров по вопросам ядерной безопасности [320], в котором излагался ряд мер, направленных на дальнейшее повышение ядерной безопасности, аварийной готовности и радиационной защиты людей и окружающей среды во всем мире. В нем также было выражено твердое обязательство государств-членов обеспечить принятие таких мер. Эти ключевые меры состояли в: совершенствовании норм безопасности МАГАТЭ; проведении систематических рассмотрений безопасности всех АЭС, в том числе путем расширения программы МАГАТЭ в области экспертных рассмотрений; повышении эффективности национальных ядерных регулирующих органов и обеспечении их независимости; укреплении глобальной системы аварийной готовности и реагирования; а также в расширении роли Агентства в получении и распространении информации. В Заявлении министров Генеральному директору было также предложено в консультациях с государствами-членами подготовить проект «Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности».

ТАБЛИЦА 6.1. МИССИИ МАГАТЭ В ЯПОНИЮ

Дата	Миссия	Цели
7-15 октября 2011 года	Международная миссия по восстановительным мероприятиям на обширных загрязненных территориях за пределами площадки АЭС «Фукусима-дайити» [316]	Оказать содействие планам Японии по восстановлению обширных загрязненных в результате аварии территорий. Рассмотреть осуществляемые в настоящее время стратегии, планы и мероприятия в Японии в области восстановления загрязненных территорий, включая картирование загрязнения. Информировать международное сообщество о выводах для распространения уроков аварии.
23-31 января 2012 года	Миссия для рассмотрения подхода АЯПБ к всеобъемлющим оценкам безопасности действующих энергетических реакторных установок [317]	Рассмотреть (по просьбе правительства Японии) проводимые АЯПБ всеобъемлющие оценки безопасности действующих энергетических реакторных установок и результаты оценок, проводимых лицензиатом.
30 июля – 11 августа 2012 года	Миссия экспертов на АЭС «Онагава» [318]	Изучить рабочие характеристики систем, конструкций и компонентов после землетрясения и цунами.
15-22 апреля 2013 года	Международная миссия по экспертному рассмотрению среднесрочной и долгосрочной дорожной карты вывода из эксплуатации энергоблоков 1–4 АЭС «Фукусима-дайити» компании ТЕРКО (первая миссия) [319]	Рассмотреть «дорожную карту вывода из эксплуатации»; проблемы; состояние реакторов; вопросы обращения с отходами; организацию защиты работников; целостность конструкции зданий реакторов и других конструкций.
14-21 октября 2013 года	Последующая международная миссия по восстановительным мероприятиям на обширных загрязненных территориях за пределами площадки АЭС «Фукусима-дайити» [265]	Оценить ход ведущихся в Японии восстановительных мероприятий и предоставить рекомендации в отношении проблем, связанных с восстановительными работами.
6-12 ноября 2013 года	Посещение экспертов по мониторингу морской среды	Наблюдать за процессом отбора проб морской воды и анализом данных в Фукусиме (7-8 ноября 2013 года) и провести совещание с представителями соответствующих компетентных органов Японии в Токио с целью сбора информации о мониторинге морской среды, проводимом Японией в рамках своего Плана действий по мониторингу морских районов.
25 ноября – 4 декабря 2013 года	Международная миссия по экспертному рассмотрению среднесрочной и долгосрочной дорожной карты вывода из эксплуатации энергоблоков 1–4 АЭС «Фукусима-дайити» компании ТЕРКО (вторая миссия) [288]	Рассмотреть обновленную «дорожную карту вывода из эксплуатации»; удаление отработавшего топлива из бассейнов выдержки; обращение с загрязненной водой; обращение с отходами и мониторинг морской среды.
10-16 сентября 2014 года и 4-14 ноября 2014 года	Миссия экспертов по мониторингу морской среды по вопросам укрепления доверия и обеспечению качества данных	Основное внимание уделено вопросам наличия результатов мониторинга морской среды.
8-15 февраля 2015 года	Международная миссия по экспертному рассмотрению среднесрочной и долгосрочной дорожной карты вывода из эксплуатации энергоблоков 1–4 АЭС «Фукусима-дайити» компании ТЕРКО (третья миссия) [289]	Рассмотреть осуществление «дорожной карты вывода из эксплуатации»; обращение с загрязненной водой; просачивание подземных вод; удаление отработавшего топлива и обломков топлива и проблемы институционального и организационного характера.

6.1.4. План действий МАГАТЭ по ядерной безопасности

Проект плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности был утвержден Советом управляющих в сентябре 2011 года. План действий был затем представлен на очередной сессии Генеральной конференции МАГАТЭ 2011 года, на которой он был единогласно одобрен государствами-членами [144]. Генеральная конференция далее призвала Секретариат МАГАТЭ осуществить эти действия в качестве главного приоритета всеобъемлющим и координированным образом [321].

Деятельность в рамках Плана действий началась сразу после его принятия. Для полного и эффективного осуществления предусмотренных в плане действий требовались совместные усилия и всесторонняя поддержка со стороны Секретариата МАГАТЭ, государств-членов и других заинтересованных сторон.

С момента принятия Плана действий значительный прогресс достигнут в нескольких ключевых областях, таких как оценки уязвимых мест в обеспечении безопасности АЭС; совершенствование услуг МАГАТЭ по независимому экспертному рассмотрению; рассмотрение и при необходимости пересмотр соответствующих норм безопасности МАГАТЭ; повышение потенциала аварийной готовности и реагирования; создание потенциала; и совершенствование коммуникаций и передачи информации государствам-членам, международным организациям и населению. Совету управляющих МАГАТЭ и Генеральной конференции МАГАТЭ регулярно представлялись доклады о ходе осуществления [322-324].

В резолюции, в которой был принят План действий, функции МАГАТЭ по реагированию на ядерную аварийную ситуацию были расширены с учетом необходимости предоставлять государствам-членам, международным организациям и населению своевременную, ясную, фактологически точную, объективную и легко доступную для понимания информацию о ее потенциальных последствиях. Это включает анализ имеющейся информации и прогноз возможных сценариев на основе фактов, научных знаний и возможностей государств-членов.

Был организован ряд совещаний международных экспертов (СМЭ) по различным областям безопасности в целях анализа технических аспектов и извлечения уроков из аварии на АЭС «Фукусима-дайити». Доклады по этим ключевым областям безопасности, в том числе результаты СМЭ, были опубликованы МАГАТЭ (см. таблицу 6.2).

В 2013 году были подготовлены дополнительные доклады по следующей тематике:

- «Готовность к ядерной или радиологической аварийной ситуации и реагирование на нее в свете аварии на АЭС "Фукусима-дайити"» – доклад на основе серии технических совещаний, проведенных в 2012-2013 годах [327].
- «Повышение эффективности регулирующей деятельности в свете аварии на атомной электростанции "Фукусима-дайити"» – доклад на основе результатов Международной конференции по эффективным системам регулирования ядерной безопасности, Оттава, Канада, 2013 год [328].

6.1.5. Сотрудничество с префектурой Фукусима

В декабре 2012 года был подписан меморандум о сотрудничестве между МАГАТЭ и префектурой Фукусима [329]. На основе этого меморандума практические договоренности о сотрудничестве в областях радиационного мониторинга и восстановления территорий [330], здоровья человека [331] и аварийной готовности и реагирования [332] были подписаны соответственно с префектурой Фукусима, медицинским университетом Фукусимы и министерством иностранных дел Японии.

В мае 2013 года в г. Фукусима был учрежден центр по созданию потенциала Сети реагирования и оказания помощи МАГАТЭ (РАНЕТ). Этот центр используется для организации тематических мероприятий МАГАТЭ, имеющих целью укрепление потенциала аварийной готовности и реагирования в Японии и во всем мире. В центре был проведен ряд учебных семинаров-практикумов по вопросам мониторинга во время ядерной и радиологической аварийной ситуации, механизмам оповещения, передачи сообщений и запросов о помощи, а также по аварийной готовности и реагированию.

ТАБЛИЦА 6.2. СОВЕЩАНИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ЭКСПЕРТОВ (СМЭ)

Дата	Название	Основное направление
19-22 марта 2012 года	СМЭ I. Безопасность реакторов и отработавшего топлива в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити» [42]	Проанализировать технические аспекты; понять коренные причины; обменяться уроками, извлеченными из аварии.
18-20 июня 2012 года	СМЭ II. Повышение прозрачности и эффективности обмена информацией в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации [314]	Определить и проанализировать уроки аварии и обсудить передовую практику улучшения распространения информации.
4-7 сентября 2012 года	СМЭ III. Защита от экстремальных землетрясений и цунами в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити» [325]	Обменяться уроками; обменяться информацией и определить вопросы, требующие дальнейшего исследования; оценка сейсмической опасности и опасности цунами; специальные вопросы затопления; неопределенности, связанные с оценками опасностей; подходы к установлению расчетных параметров; рассмотрение запроектных событий; безопасность в отношении землетрясений и цунами.
28 января – 1 февраля 2013 года	СМЭ IV. Вывод из эксплуатации и восстановление территорий после ядерной аварии [293]	Изучить краткосрочные и долгосрочные проблемы при выводе из эксплуатации установок, поврежденных во время аварии; обращение с радиоактивными отходами, образовавшимися в результате ядерной аварии; и восстановление территорий за пределами площадки.
21-24 мая 2013 года	СМЭ V. Человеческий и организационный факторы в обеспечении ядерной безопасности в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити» [67]	Изучить пути повышения культуры ядерной безопасности в ряде ключевых организаций, включая эксплуатирующие организации и регулирующие органы.
17-21 февраля 2014 года	СМЭ VI. Радиационная защита после аварии на АЭС «Фукусима-дайити»: укрепление доверия и взаимопонимания [326]	Особое внимание уделено вопросам радиационной защиты, выдвинутых на первый план в связи с аварией на АЭС «Фукусима-дайити», и тому, как их можно решить на национальном и международном уровне.
17-20 марта 2014 года	СМЭ VII. Управление тяжелыми авариями в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити»	Собрать знания и опыт в отношении управления тяжелыми авариями, приобретенные в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити», и обменяться ими; определить уроки и лучшие практики.

Дата	Название	Основное направление
16-20 февраля 2015 года	СМЭ VIII. Повышение эффективности исследований и разработок в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити»	Содействовать обмену информацией о результатах новых исследований и разработок, проводимых в государствах – членах МАГАТЭ, а также в рамках Агентства по ядерной энергии ОЭСР (АЯЭ/ОЭСР) и других международных организаций в отношении тяжелых аварий на АЭС, в том числе аварий, затрагивающих бассейны выдержки отработавшего топлива; укрепить международное сотрудничество между государствами-членами и международными организациями.
20-24 апреля 2015 года	СМЭ IX. Процессы оценки и прогнозирования в ходе реагирования на ядерную или радиологическую аварийную ситуацию	Содействовать обмену своевременной, ясной, фактологически точной информацией во время ядерной или радиологической аварийной ситуации и в условиях ее потенциальных последствий, включая анализ имеющейся информации и прогнозирование возможных сценариев на основе фактов, научных знаний и потенциальных возможностей государств-членов.

6.1.6. Фукусимская конференция по ядерной безопасности на уровне министров

В декабре 2012 года правительство Японии совместно с МАГАТЭ организовало в префектуре Фукусима конференцию на уровне министров, основная цель которой состояла в том, чтобы внести вклад в повышение ядерной безопасности во всем мире [333]. Конференция предоставила возможность поделиться с международным сообществом новыми знаниями и уроками аварии, а также обсудить ход реализации международных усилий, направленных на укрепление ядерной безопасности, в том числе ход осуществления Плана действий.

Были обсуждены: уровни радиации на АЭС «Фукусима-дайити»; задачи, связанные с выводом из эксплуатации и реабилитацией после аварии; и положение дел в отношении нанесенного ущерба и восстановительных мероприятий в прилегающих к станции районах. Конференция подчеркнула важность принятия в случае ядерной или радиологической аварийной ситуации мер, основанных на научной и фактической информации, а также укрепления международного сотрудничества.

6.2. СОВЕЩАНИЯ ДОГОВАРИВАЮЩИХСЯ СТОРОН КОНВЕНЦИИ О ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Вставка 6.1. Конвенция о ядерной безопасности

Конвенция о ядерной безопасности была принята в Вене 17 июня 1994 года [334]. Она является первым юридически обязательным международным договором по рассмотрению безопасности ядерных установок (наземных гражданских атомных станций), целью которого является: достижение и поддержание высокого уровня ядерной безопасности во всем мире; создание и поддержание эффективных средств защиты от потенциальной радиационной опасности, с тем чтобы защитить отдельных лиц, общество в целом и окружающую среду; предотвращение аварий с радиологическими последствиями и смягчение таких последствий в случае их возникновения. Конвенция вступила в силу 24 октября 1996 года. По состоянию на март 2015 года насчитывалось 77 Договаривающихся сторон.

Обязательства договаривающихся сторон в значительной степени основываются на принципах, в настоящее время содержащихся в публикации МАГАТЭ «Основополагающие принципы безопасности» (SF-1) [335]. Эти обязательства, в частности, охватывают: выбор площадки, проектирование, сооружение и эксплуатацию ядерных установок; создание и поддержание законодательной и регулирующей основы; учреждение регулирующего органа, обладающего надлежащими полномочиями, компетенцией и финансовыми и людскими ресурсами; наличие достаточных финансовых и людских ресурсов для поддержания безопасности ядерных установок; оценку и проверку безопасности; обеспечение качества; и аварийную готовность.

Договаривающимся сторонам необходимо представлять доклады о мерах, которые они приняли в целях осуществления каждого из обязательств, вытекающих из Конвенции. Эти доклады рассматриваются во время совещаний договаривающихся сторон по рассмотрению, проводимых раз в три года под эгидой МАГАТЭ.

6.2.1. Внеочередное совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности

На пятом Совещании договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности по рассмотрению, проходившем с 4 по 14 апреля 2011 года, стороны приняли заявление, в котором они, в частности, подтвердили свою приверженность целям Конвенции. Договаривающиеся стороны приняли решение провести внеочередное совещание с целью рассмотрения и обсуждения первоначальных анализов аварии и рассмотрения эффективности положений Конвенции.

Внеочередное совещание состоялось с 27 по 31 августа 2012 года в Центральных учреждениях МАГАТЭ в Вене. Договаривающиеся стороны обсудили: внешние события; вопросы проектирования; вопросы управления тяжелыми авариями и аварийно-восстановительных работ (на площадке); национальные организации; вопросы аварийной готовности и реагирования; послеаварийные мероприятия (за пределами площадки); и международное сотрудничество.

Договаривающиеся стороны достигли консенсуса в отношении ряда конкретных мер по повышению эффективности процесса экспертного рассмотрения. Были внесены поправки в три основополагающих руководящих документа¹²⁰ по Конвенции, с тем чтобы повысить прозрачность процесса рассмотрения; настоятельно рекомендовать договаривающимся сторонам в своих национальных докладах ссылаться на нормы

¹²⁰ "Правила процедуры и Финансовые правила" [336], "Руководящие принципы, касающиеся процесса рассмотрения" [337] и "Руководящие принципы, касающиеся национальных докладов" [338].

безопасности МАГАТЭ; и активизировать усилия по постоянному улучшению положения дел путем проведения периодических оценок безопасности на основе периодического рассмотрения вопросов безопасности или альтернативных методов.

Была создана Рабочая группа по вопросам эффективности и прозрачности для представления шестому Совещанию договаривающихся сторон по рассмотрению доклада о дальнейших мерах по укреплению Конвенции о ядерной безопасности и о предложениях о внесении в нее поправок, если в этом возникнет необходимость. Договаривающиеся стороны также рассмотрели перечень практических задач по укреплению ядерной безопасности, который прилагался к краткому докладу Внеочередного совещания [339].

6.2.2. Шестое Совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности по рассмотрению

С 24 марта по 4 апреля 2014 года состоялось шестое Совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности по рассмотрению. Во время специальной сессии совещания договаривающиеся стороны представили доклады о мерах, принятых в свете аварии на АЭС «Фукусима-дайити». Было отмечено, что, хотя положение дел с обеспечением ядерной безопасности и мерами аварийной готовности и реагирования улучшилось, предстоит сделать еще больше. Проводилась работа по дальнейшему совершенствованию национальных систем безопасности, и предпринимались шаги, направленные на обеспечение реальной независимости регулирующих органов и обновление регулирующих положений. Международное сотрудничество также активизировалось, и расширилось участие в экспертных рассмотрениях и обмене информацией [340].

Договаривающиеся стороны Конвенции о ядерной безопасности представили доклады о реализации мер повышения безопасности, включая: внедрение дополнительных средств, позволяющих выдерживать длительную потерю энергоснабжения и теплоносителя; увеличение мощности систем электропитания в целях повышения надежности; проведение повторных оценок опасности характерных для площадки внешних природных явлений, а также событий, затрагивающих несколько энергоблоков; совершенствование центров аварийного управления на площадке и за пределами площадки в целях защиты от экстремальных внешних событий и радиационных опасностей; укрепление мер по сохранению целостности защитной оболочки; и доработку положений и руководящих принципов управления тяжелыми авариями.

Договаривающиеся стороны также приняли предложения о дальнейшем внесении поправок в основополагающие руководящие документы по Конвенции и выработали рекомендации в отношении мер, которые могут быть приняты Секретариатом, договаривающимися сторонами и другими организациями.

В конечном итоге договаривающиеся стороны голосованием приняли решение в течение одного года созвать дипломатическую конференцию для рассмотрения предложения Швейцарии о внесении поправки в статью 18 Конвенции, касающуюся проекта и сооружения как новых, так и существующих АЭС.

6.2.3. Дипломатическая конференция и Венское заявление о ядерной безопасности

Дипломатическая конференция была созвана Генеральным директором 9 февраля 2015 года в Центральных учреждениях МАГАТЭ, и в ней участвовала 71 договаривающаяся сторона. Участники единогласно приняли Венское заявление о ядерной безопасности. Заявление включало следующие принципы обеспечения достижения третьей цели Конвенции – предотвращения аварий с радиологическими последствиями и смягчения таких последствий в случае их возникновения:

«1. Проектирование, выбор площадки и строительство атомных электростанций должно иметь целью предотвращение аварий при вводе в эксплуатацию и эксплуатации, а при возникновении аварии – уменьшение возможных выбросов радионуклидов, приводящих к долгосрочному загрязнению за пределами площадки, и недопущение радиоактивных выбросов на ранней стадии и настолько крупных радиоактивных выбросов, что в связи с ними могут потребоваться долгосрочные защитные меры и действия.

2. В течение всего срока службы действующих установок следует периодически и регулярно проводить комплексные и систематические оценки безопасности с целью определения усовершенствований систем безопасности, которые направлены на достижение вышеуказанной цели. Необходимо своевременно вносить практически осуществимые или достижимые усовершенствования в системы безопасности.

3. В национальных требованиях и регулирующих положениях, касающихся обеспечения достижения этой цели в течение всего срока службы атомных электростанций, должны учитываться соответствующие нормы безопасности МАГАТЭ и при необходимости – другая надлежащая практика, определенная, в частности, на совещаниях по рассмотрению в рамках КНБ [Конвенции о ядерной безопасности] [341]».

В Венском заявлении было принято во внимание то, что после аварии на АЭС «Фукусима-дайити» на международном, национальном и региональном уровне были приложены существенные усилия и реализовано значительное количество инициатив для повышения ядерной безопасности во всем мире.

СПРАВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- [1] NATIONAL POLICE AGENCY, Damage Situation and Police Countermeasures Associated with the 2011Tohoku District-off the Pacific Ocean Earthquake (2015),
https://www.npa.go.jp/archive/keibi/biki/higaijokyo_e.pdf
- [2] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Introductory Statement to Board of Governors (2013),
<https://www.iaea.org/newscenter/statements/introductory-statement-board-governors-3>
- [3] GOVERNMENT OF JAPAN, NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations (2011),
<http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima/japan-report>
- [4] GOVERNMENT OF JAPAN, NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Additional Report of the Japanese Government to the IAEA: The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations, Second Report (2011),
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/iaea/iaea_110911.html
- [5] INVESTIGATION COMMITTEE ON THE ACCIDENT AT THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATIONS OF TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Final Report, Cabinet Secretariat of the Government of Japan (2012),
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/final-report.html>
- [6] INVESTIGATION COMMITTEE ON THE ACCIDENT AT THE FUKUSHIMA NUCLEAR POWER STATIONS OF TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Interim Report, Cabinet Secretariat of the Government of Japan (2011),
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/icanps/eng/interim-report.html>
- [7] NATIONAL DIET OF JAPAN FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT INDEPENDENT INVESTIGATION COMMISSION, The Official Report of the Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission, National Diet of Japan, Tokyo (2012).
- [8] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Fukushima Nuclear Accident Analysis Report, TEPCO, Tokyo (2012).
- [9] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Evaluation of the Situation of Cores and Containment Vessels of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units-1 to 3 and Examination into Unsolved Issues in the Accident Progression, TEPCO, Tokyo (2013).
- [10] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report on the Investigation and Study of Unconfirmed/Unclear Matters in the Fukushima Nuclear Accident, Progress Rep. No. 2, TEPCO, Tokyo (2014).
- [11] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Analysis of the TEPCO Fukushima Daiichi NPS Accident, Interim Rep. (2014),
https://www.iaea.org/sites/default/files/anaylysis_nra1014.pdf
- [12] JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, Information on the 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake (2015),
http://www.jma.go.jp/jma/en/2011_Earthquake/Information_on_2011_Earthquake.html
- [13] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Power Reactor Information System (PRIS) (2015),
<http://www.iaea.org/pris/>
- [14] JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, Tsunami Information (Estimated Tsunami Arrival Time and Height) (2011),
http://www.jma.go.jp/en/tsunami/info_04_20110311145026.html
- [15] COASTAL ENGINEERING COMMITTEE OF JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS, The 2011 off the Pacific Coast of Tohoku Earthquake Tsunami Information (2013),
<http://www.coastal.jp/tsunami2011/index.php?Field%20survey%20results>
- [16] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Разрешение на строительство 1-го блока АЭС "Фукусима-дайити", АЯПБ, 1966 (на японском языке).

- [17] МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИКИ, ТОРГОВЛИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Представленные в МЭТП результаты испытаний на герметичность контейнеров для сухого хранения, 2013 (на японском языке),
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/20130530_03.html
- [18] ТОКИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ. Инструкции по эксплуатации АЭС "Фукусима-дайти" ТЭПКО в случае аварии, 2011 (на японском языке),
http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/earthquake/manual/manual_index.html
- [19] Act on Special Measures Concerning Nuclear Emergency Preparedness, Act No. 156 of 1999, as last amended by Act No. 118 of 2006 (Japan),
<http://www.cas.go.jp/jp/seisaku/hourei/data/ASMCNEP.pdf>
- [20] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Building diagrams for 1F ground level and cross section of Unit 4 and the common spent fuel pool, official communication (2014).
- [21] Постановление № 195 об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям, 5 апреля 2000 г. (Япония) (на японском языке),
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/H12/H12SE195.html>
- [22] КОМИССИЯ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Управление аварией: меры, принимаемые в случае тяжелой аварии на установках с легководными ядерными энергетическими реакторами, 1992 (на японском языке),
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/nc/t19920528001/t19920528001.html
- [23] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Accident Management for Severe Accidents at Light Water Power Reactor Installations, NSCRG: L-AM-II.01, NSC, Tokyo (1997).
- [24] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Roadmap towards Restoration from the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2011),
http://www.meti.go.jp/english/speeches/pdf/20110417_a.pdf
- [25] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA Safety Standards Series No. SSG-18, IAEA, Vienna (2011).
- [26] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Оценка площадок для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-R-3, МАГАТЭ, Вена (2010).
- [27] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: проектирование, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-R-1, МАГАТЭ, Вена (2003). (Данная публикация заменена публикацией SSR-2/1 (2012)).
- [28] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Учет землетрясений и связанных с ними явлений при выборе площадок для атомных станций, Серия изданий по безопасности, № 50-SG-S1, МАГАТЭ, Вена (1981). (Данная публикация заменена публикацией SSG-9 (2010)).
- [29] Nuclear Reactor Establishment Change Permit Application, Nuclear Industry Report to the Government No. 5–11 (1993).
- [30] SAKAI, T., TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Past tsunami assessments and tsunami on 11 March 2011", paper presented at 5th Meeting of Working Group 2, Vienna, 2014.
- [31] ЯПОНСКОЕ ОБЩЕСТВО ИНЖЕНЕРОВ-СТРОИТЕЛЕЙ. Метод оценки цунами для нужд атомных электростанций в Японии, 2002 (на японском языке),
<http://committees.jsce.or.jp/ceofnp/node/5>
- [32] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Regulatory Guide for Reviewing Seismic Design of Nuclear Power Reactor Facilities, NSC, Tokyo (2006).
- [33] ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРГАН ПО СОДЕЙСТВИЮ В СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ. О долгосрочной оценке сейсмической активности у берегов Восточной Японии между побережьем Санрику и полуостровом Босо, 2002 (на японском языке),
http://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso.pdf

- [34] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Fact Finding Expert Mission of the Fukushima Dai-ichi NPP Accident Following the Great East Japan Earthquake and Tsunami (2011),
http://www-pub.iaea.org/MTCD/meetings/PDFplus/2011/cn200/documentation/cn200_Final-Fukushima-Mission_Report.pdf
- [35] GOVERNMENT OF INDIA, Actions Taken for Indian NPPs Subsequent to Fukushima Nuclear Accident. National Report to the Convention on Nuclear Safety (2012),
<http://www.aerb.gov.in/AERBPortal/pages/English/t/documents/CNS2012.pdf>
- [36] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Extreme External Events in the Design and Assessment of Nuclear Power Plants, IAEA-TECDOC-1341, IAEA, Vienna (2003).
- [37] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Reporting System for Operating Experience (2014) (не опубликовано).
- [38] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Follow-up IAEA Mission in Relation to the Findings and Lessons Learned from the 16 July 2007 Earthquake at Kashiwazaki-Kariwa NPP, IAEA, Vienna (2009).
- [39] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Глубокоэшелонированная защита в ядерной безопасности, INSAG-10, МАГАТЭ, Вена (1998).
- [40] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Основные принципы безопасности атомных электростанций 75-INSAG-3 Rev.1, INSAG-12, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [41] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Программы по управлению тяжелыми авариями на атомных электростанциях, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.15, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [42] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Reactor and Spent Fuel Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2012).
- [43] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, International Conference on Topical Issues in Nuclear Installation Safety: Defence in Depth — Advances and Challenges for Nuclear Installation Safety, IAEA-TECDOC-CD-1749, IAEA, Vienna (2014).
- [44] SANDIA NATIONAL LABORATORIES, Fukushima Daiichi Accident Study (Status as of April 2012) SAND2012-6173, SNL, Albuquerque, NM (2012).
- [45] ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, Fukushima Technical Evaluation, Phase 1 — MAAP5 Analysis, EPRI, Palo Alto (2013).
- [46] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report on the Investigation and Study of Unconfirmed/Unclear Matters in the Fukushima Nuclear Accident. Progress Rep. No. 2 (2014),
http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu14_e/images/140806e0101.pdf
- [47] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 1 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-3, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [48] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Глоссарий МАГАТЭ по вопросам безопасности. Терминология, используемая в области ядерной безопасности и радиационной защиты. Издание 2007 года, МАГАТЭ, Вена (2008).
- [49] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Разработка и применение вероятностной оценки безопасности уровня 2 для атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SSG-4, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [50] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Безопасность атомных электростанций: эксплуатация, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-R-2, МАГАТЭ, Вена (2003). (Данная публикация заменена публикацией SSR-2/2 (2011)).
- [51] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Integrated Regulatory Review Service (IRRS) to Japan, IAEA-NSNI-IRRS-2007/01, IAEA, Vienna (2007).
- [52] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Периодическое рассмотрение безопасности атомных электростанций, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № NS-G-2.10, МАГАТЭ, Вена (2009). (Данная публикация заменена публикацией SSG-25 (2013)).

- [53] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Lessons Learned from the JCO Nuclear Criticality Accident in Japan in 1999 (2009),
<http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/tokaimura-report.pdf>
- [54] SHIROYAMA, H., “Regulatory failures of nuclear safety in Japan — the case of Fukushima accident”, paper presented at Earth System Governance Tokyo Conf.: Complex Architectures, Multiple Agents, Tokyo (2013),
http://tokyo2013.earthsystemgovernance.org/wp-content/uploads/2013/01/0202-SHIROYAMA_Hideaki-.pdf
- [55] GOVERNMENT OF JAPAN, Convention on Nuclear Safety National Report of Japan for the Fifth Review Meeting (2010),
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/documents/conventions/2011.pdf>
- [56] KATO, S., “Recent development in safety regulation of nuclear fuel cycle activities”, Proc. Int. Conf. on Topical Issues in Nuclear Safety, Vienna, 2001, IAEA, Vienna (2002).
- [57] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Государственная, правовая и регулирующая основа обеспечения безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 1, МАГАТЭ, Вена (2010).
- [58] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Periodic Safety Review of Nuclear Power Plants: Experience of Member States, IAEA-TECDOC-1643, IAEA, Vienna (2010).
- [59] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, FY2012 Annual Report, NRA, Tokyo (2012).
- [60] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Enforcement of the New Regulatory Requirements for Commercial Nuclear Power Reactors (2013),
<http://www.nsr.go.jp/data/000067212.pdf>
- [61] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ, Культура безопасности, Серия изданий по безопасности, № 75-INSAG-4, МАГАТЭ, Вена (1991).
- [62] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Система управления для ядерных установок, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GS-G-3.5, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [63] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Developing Safety Culture in Nuclear Activities: Practical Suggestions to Assist Progress, Safety Reports Series No. 11, IAEA, Vienna (1998).
- [64] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Safety Culture in Nuclear Installations, IAEA-TECDOC-1329, IAEA, Vienna (2002).
- [65] INSTITUTE OF NUCLEAR POWER OPERATIONS, Lessons Learned from the Nuclear Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, INPO 11-005 Addendum, INPO, Atlanta (2012).
- [66] NUCLEAR REGULATORY COMMISSION, A Comparison of US and Japanese Regulatory Requirements in Effect at the Time of the Fukushima Accident, NRC, Washington, DC (2013).
- [67] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Human and Organizational Factors in Nuclear Safety in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2014).
- [68] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS OFFICE FOR THE COORDINATION OF HUMANITARIAN AFFAIRS, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Arrangements for Preparedness for a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA Safety Standards Series No. GS-G-2.1, IAEA, Vienna (2007).
- [69] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, УПРАВЛЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО КООРДИНАЦИИ ГУМАНИТАРНЫХ ВОПРОСОВ, Готовность и реагирование в случае ядерной или

радиационной аварийной ситуации, Серия норм безопасности МАГАТЭ, №GS-R-2,

МАГАТЭ, Вена (2004).

- [70] Disaster Countermeasures Basic Act, Act No. 223 of 15 November 1961, as last amended in 1997 (Japan),
<http://www.adrc.asia/documents/law/DisasterCountermeasuresBasicAct.pdf>
- [71] Распоряжение № 2 об исполнении Закона о специальных мерах по обеспечению готовности к ядерным аварийным ситуациям, 5 апреля 2000 г. (Япония) (на японском языке),
<http://law.e-gov.go.jp/haishi/H12F03103016002.html>
- [72] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Comment received on Section 3.1 on Technical Volume 3, official communication (23 July 2014).
- [73] ПРАВИТЕЛЬСТВО ЯПОНИИ. Руководство по реагированию а случае ядерной аварийной ситуации, правительство Японии, 2010 (на японском языке).
- [74] ПРЕФЕКТУРА ФУКУСИМА. План ликвидации последствий бедствий префектуры Фукусима, 2009 (на японском языке).
- [75] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Nuclear Operator Emergency Action Plan for the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Station, TEPCO, Tokyo (2010).
- [76] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Specific Event Report, Fax No. 0042 (11 March 2011).
- [77] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Report from Nuclear Power Plant Management of TEPCO to Minister of Economy, Trade and Industry, Fax No. 1560 (11 March 2011).
- [78] GOVERNMENT OF JAPAN, CENTRAL DISASTER MANAGEMENT COUNCIL, The Basic Disaster Management Plan, Government of Japan, Tokyo (2008).
- [79] GOVERNMENT OF JAPAN, Official web site of the Prime Minister of Japan and His Cabinet (2015),
<http://japan.kantei.go.jp/index.html>
- [80] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About NISA (2015),
<http://www.nsr.go.jp/archive/nisa/english/aboutnisa/contact.html>
- [81] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, TEPCO at a Glance (2015),
<http://www.tepco.co.jp/en/corpinfo/overview/p-glance-e.html>
- [82] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About the Nuclear Safety Commission (2015),
<http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/aboutus/overview/overview.htm>
- [83] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, About JNES (2015),
<http://www.nsr.go.jp/archive/jnes/english/index.html>
- [84] MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY, Home page of the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology (2015),
<http://www.mext.go.jp/english/>
- [85] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Home page of the Ministry of Health, Labour and Welfare (2015),
<http://www.mhlw.go.jp/english/>
- [86] MINISTRY OF AGRICULTURE, FORESTRY AND FISHERIES, Home page of the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (2015),
<http://www.maff.go.jp/e/>
- [87] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Home page of the Ministry of Environment (2015),
<http://www.env.go.jp/en/>
- [88] MINISTRY OF DEFENSE, Home page of the Ministry of Defense of Japan (2015),
<http://www.mod.go.jp/e/index.html>
- [89] JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY, Home page of the Japan Meteorological Agency (2015),
<http://www.jma.go.jp/jma/indexe.html>
- [90] JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY, Home page of the Japan Atomic Energy Agency (2015),
<http://www.jaea.go.jp/english/index.html>
- [91] NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES, Home page of National Institute of Radiological Sciences (2015),

- <http://www.nirs.go.jp/ENG/index.shtml>
- [92] JAPAN NUCLEAR ENERGY SAFETY ORGANIZATION, Initial Operations in the Local Nuclear Emergency Response Headquarters (2013),
<https://www.nsr.go.jp/archive/jnes/content/000124530.pdf>
 - [93] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Regulatory Guide: Emergency Preparedness for Nuclear Facilities, NSC, Tokyo (1980).
 - [94] Распоряжение о предотвращении опасности ионизирующих излучений, распоряжение министерства труда № 41 от 30 сентября 1972 г. с последними поправками, внесенными в распоряжении № 172 от 16 июля 2001 г. (Япония) (на японском языке),
<http://law.e-gov.go.jp/htmldata/S47/S47F04101000041.html>
 - [95] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Enforcement of the Ministerial Ordinance on Exemption of the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011 (2011),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepcor/ri_0315_07.html
 - [96] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Consultation with and Recommendation from the Labor Policy Council on “the Outline of the Draft Ministerial Ordinance for Abolishment of Exemption in the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011” (2011),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepcor/pr_111121.html
 - [97] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Response and Action Taken by the MHLW of Japan on Radiation Protection for Workers Involved in the TEPCO Fukushima Daiichi NPP Accident, MHLW, Tokyo (2013).
 - [98] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the “Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident” (2011).
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110719_assistance_03.pdf
 - [99] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the “Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident” (2011).
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110617roadmap_assistance_report.pdf
 - [100] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Status of Improvement on Working Environment of workers in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (Attachment 2: About Cool Vest) (2011),
<http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11061013-e.html>
 - [101] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status of Cooling (Reactors) (2011),
http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/betu11_e/images/110517e5.pdf
 - [102] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Occupational Safety and Health Department Notification (2011),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/dr/dr/ri_0909_01.html
 - [103] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Guidelines on Prevention of Radiation Hazards for Workers Engaged in Decontamination Works (2011),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/dr/dr/pr_120615_a03.pdf
 - [104] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, WG3 question 4, 1st submission, official communication (2013).
 - [105] GOVERNMENT OF JAPAN, WG3 question 5, 6th submission, official communication (2014).
 - [106] WATANABE, Y., "Relief activities conducted by the Japanese Red Cross Society after the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident and the challenges for the future", IAEA Report on Severe Accident Management in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2015).
 - [107] TOMINAGA, T., HACHIYA, M., AKASHI, M., Lessons learned from response to the accident at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant: from the viewpoint of radiation emergency medicine and combined disaster, Radiat. Emergency Med. 1 1–2 (2012) 56–61.
 - [108] TANIGAWA, K., HASEGAWA, A., "Medical perspective", Radiation Disaster Medicine (TANIGAWA, K., CHHEM, R. K., Eds), Springer, Heidelberg (2014).

- [109] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, WG3 question 7, 1st submission, official communication (2013).
- [110] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Handling of Food Contaminated by Radioactivity (2011),
<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/foodsafety/dl/food-110317.pdf>
- [111] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Issuance of Instruction to Restrict Distribution of Foods Concerned, in Relation to the Accident at Fukushima Nuclear Power Plant (2011),
<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110321.pdf>
- [112] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Restriction of Distribution and/or Consumption of Foods Concerned in Fukushima and Ibaraki Prefectures (2011),
<http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r98520000015wun-att/2r98520000015xym.pdf>
- [113] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Monitoring of Radioactive Contaminants for Agricultural and Livestock Products (2011),
<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110323.pdf>
- [114] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Handling of Provisional Regulation Values for Radioactive Iodine in Fishery Products (2011),
<http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-110405.pdf>
- [115] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, New Standard Limits for Radionuclides in Foods (2012),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/new_standard.pdf
- [116] NATIONAL INSTITUTE OF RADIOLOGICAL SCIENCES, Telephone Consultations on Radiation Exposure: Report on Tabulated Results from the Year Following the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Disaster (2014),
http://www.nirs.go.jp/publication/irregular/pdf/nirs_m_265en.pdf
- [117] МИНИСТЕРСТВО ЭКОНОМИКИ, ТОРГОВЛИ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Проблемы информационной работы с населением и дальнейшие действия, касающиеся аварии на атомной электростанции "Фукусима-дайти" ТЕРКО, МЭП, Токио, 2012 (на японском языке).
- [118] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011),
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110817_assistance_02.pdf
- [119] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Progress of the "Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Residents Affected by the Nuclear Incident" (2011),
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110920_assistance_02.pdf
- [120] ОРГАНИЗАЦИЯ ВНЕШНЕЙ ТОРГОВЛИ ЯПОНИИ. Влияние Великого восточнoяпонского землетрясения на международную коммерческую деятельность, 2014 (на японском языке),
www.jetro.go.jp/world/shinsai/20110318_11.html
- [121] GOVERNMENT OF JAPAN, National Report of Japan to the Joint Convention on the Safety of Spent Fuel Management and on the Safety of Radioactive Waste Management (2011),
http://www.nsr.go.jp/english/cooperation/conventions/data/jc_4th.pdf
- [122] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Near-term Policy to Ensure the Safety in Treating and Disposing Contaminated Waste around the Site of Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants, NSC, Tokyo (2011).
- [123] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Basic Policy for Emergency Response on Decontamination Work (2011),
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/genshiryoku/dai19/19_03_gensai.pdf
- [124] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Act on Special Measures Concerning the Handling of Environmental Pollution by Radioactive Materials Discharged by the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District — Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011, Act No. 110 as of 2011 (Japan).
- [125] ATOMIC ENERGY SOCIETY OF JAPAN, Final Report of the AESJ Investigation Committee (Announcement) (2014),
<http://www.aesj.or.jp/en/announcement/finalreport20141119.pdf>

- [126] INDEPENDENT INVESTIGATION COMMISSION ON THE FUKUSHIMA NUCLEAR ACCIDENT, The Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Disaster: Investigating the Myth and Reality, Routledge, London and New York (2014).
- [127] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Application of the Commission's Recommendations for the Protection of People in Emergency Exposure Situations, Publication 109, Pergamon Press, Oxford and New York (2009).
- [128] NUCLEAR SAFETY COMMISSION, Basic Policy of the Nuclear Safety Commission of Japan on Radiation Protection for Termination of Evacuation and Reconstruction (2011), http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/geje/20110719suggest_4.pdf
- [129] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИАЦИОННОЙ ЗАЩИТЕ, Рекомендации 2007 года Международной комиссии по радиационной защите, Публикация 103 МКРЗ, Москва, 2009.
- [130] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Roadmap for Immediate Actions for the Assistance of Nuclear Sufferers (2011), http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/110517roadmap_assistance.pdf
- [131] MINISTRY OF EDUCATION, CULTURE, SPORTS, SCIENCE AND TECHNOLOGY, Plan to Conduct Detailed Monitoring in Restricted Area and Planned Evacuation Zone (2011), http://www.mext.go.jp/component/english/_icsFiles/afieldfile/2011/06/29/1304084_0613.pdf
- [132] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Lifting the Evacuation-Prepared Area in Case of Emergency Designation (2011), <http://www.reconstruction.go.jp/topics/41gennshiryoku.pdf>
- [133] КОМИССИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ ГОТОВНОСТИ К ЯДЕРНОЙ АВАРИЙНОЙ СИТУАЦИИ. Руководство по реагированию в случае ядерной аварийной ситуации, 2012 (на японском языке), http://www.kantei.go.jp/jp/singi/genshiryoku_bousai/pdf/taisaku_manual.pdf
- [134] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, National Report to the 6th Review Meeting of the Convention on Nuclear Safety (2013), http://www.nsr.go.jp/english/cooperation/conventions/data/cns_6th.pdf
- [135] КОМИССИЯ ПО ЯДЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ. Предварительный доклад о пересмотре "Регулирующего руководства: обеспечение готовности ядерных установок к аварийной ситуации", 2012 (на японском языке), http://www.nsr.go.jp/archive/nsc/NSCenglish/geje/20120322review_3.pdf
- [136] УПРАВЛЕНИЕ ПО ЯДЕРНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ. Руководящие принципы реагирования в случае ядерной аварийной ситуации, 2012 (на японском языке), http://www.nsr.go.jp/activity/bousai/data/130905_saitaishishin.pdf
- [137] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Международные основные нормы безопасности для защиты от ионизирующих излучений и безопасного обращения с источниками излучения, Серия изданий по безопасности, № 115, МАГАТЭ, Вена (1997). (Данная публикация заменена публикацией GSR Part 3 (2014)).
- [138] Конвенция об оперативном оповещении о ядерной аварии, INFCIRC/335, МАГАТЭ, Вена (1986).
- [139] Конвенция о помощи в случае ядерной аварии или радиационной аварийной ситуации, INFCIRC/336, МАГАТЭ, Вена (1986).
- [140] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Joint Radiation Emergency Management Plan of the International Organizations, EPR-JPLAN, IAEA, Vienna (2010).
- [141] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Emergency Notification and Assistance Technical Operations Manual, EPR-ENATOM (2007), IAEA, Vienna (2007).
- [142] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Response and Assistance Network (2010), <http://www-ns.iaea.org/downloads/iec/info-brochures/13-27031-ranet.pdf>

- [143] Деятельность МАГАТЭ в ответ на аварию на АЭС "Фукусима", GOV/INF/2011/8, МАГАТЭ, Вена (2011).
- [144] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Action Plan on Nuclear Safety (2011),
<http://www.iaea.org/sites/default/files/actionplanns.pdf>
- [145] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Patterns in Governmental Decisions and Recommendations (GDR) Information Exchange during the Fukushima NPP Accident, NEA/CRPPH(2012)3, OECD, Paris (2012).
- [146] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Preliminary Dose Estimation from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, WHO, Geneva (2012).
- [147] WORLD HEALTH ORGANIZATION, Health Risk Assessment from the Nuclear Accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami, Based on a Preliminary Dose Estimation, WHO, Geneva (2013).
- [148] UNITED NATIONS, Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2013 Report, Vol. I, Scientific Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident after the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).
- [149] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Report of ICRP Task Group 84 on Initial Lessons Learned from the Nuclear Power Plant Accident in Japan vis-à-vis the ICRP System of Radiological Protection, ICRP, Ottawa (2012).
- [150] GONZÁLEZ, A.J., AKASHI, M., BOICE, J.D., Jr., CHINO, M., HOMMA, T., ISHIGURE, N., KAI, M., KUSUMI, S., LEE, J.-K., MENZEL, H.-G., NIWA, O., SAKAI, K., WEISS, W., YAMASHITA, S., YONEKURA, Y., Radiological protection issues arising during and after the Fukushima nuclear reactor accident, J. Radiol. Prot. 33 3 (2013) 497–571.
- [151] UNITED NATIONS, FAO/IAEA Food Database, UNSCEAR 2013 Report, Attachment C-8 of Annex A: Levels and Effects of Radiation Exposure Due to the Nuclear Accident After the 2011 Great East-Japan Earthquake and Tsunami, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2014).
- [152] WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, Evaluation of Meteorological Analyses for the Radionuclide Dispersion and Deposition from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident, WMO, Geneva (2013).
- [153] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, The Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident: OECD/NEA Response and Lessons Learnt, OECD, Paris (2013).
- [154] ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, Руководство по обеспечению качества питьевой воды, 3-е издание, ВОЗ, Женева (2004).
- [155] General Standard for Contaminants and Toxins in Food and Feed of 1995, as last amended 2013, Codex Alimentarius Commission,
http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/agns/pdf/CXS_193e.pdf
- [156] JAPAN HEALTH PHYSICS SOCIETY, Issues Associated with Radiation Protection after Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Disaster: Responses of and Recommendations from Japan Health Physics Society, JHPS (2012).
- [157] YASUMURA, S., "Overview of Fukushima Health Management Survey", paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima (2014),
[http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/5_S2_Yasumura_FINAL\(0909\).pdf](http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/5_S2_Yasumura_FINAL(0909).pdf)
- [158] ПРЕФЕКТУРА ФУКУСИМА. Повестка дня 3-го заседания Комитета по надзору за медицинским обследованием населения префектуры Фукусима, 2011 (на японском языке),
<http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/6497.pdf>
- [159] SASAKAWA, Y., International Expert Symposium in Fukushima, September 2011, J. Radiol. Prot. 32 1 (2012) E7–E8.
- [160] Conclusions and recommendations of the International Expert Symposium in Fukushima: Radiation and Health Risks, J. Radiol. Prot. 31 4 (2011) 381–384.

- [161] ПРЕФЕКТУРА ФУКУСИМА. Круг ведения Комитета по надзору за медицинским обследованием населения префектуры Фукусима, 2011 (на японском языке), <http://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/65128.pdf>
- [162] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, Basic Survey (Radiation Dose Estimates), 19th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey, Fukushima, Japan, (2015), http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/19-1_Basic_Survey.pdf
- [163] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIATION UNITS AND MEASUREMENTS, Radiation Quantities and Units, ICRU Rep. 33, Bethesda, MD (1980).
- [164] INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, Convention Concerning the Protection of Workers against Ionising Radiations, No. 115, ILO, Geneva (1960).
- [165] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2008 Report, Vol. I, Annexes A and B, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2010).
- [166] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION MEASUREMENTS, Uncertainties in Fatal Cancer Risk Estimates Used in Radiation Protection, NCRP Rep. No. 126, NCRP, Bethesda, MA (1997).
- [167] ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, A/67/46, ООН, Нью-Йорк (2012).
- [168] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 1977 Report, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (1977).
- [169] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The International Chernobyl Project: Technical Report, IAEA, Vienna (1991).
- [170] ESLINGER, P.W., et al., Source term estimation of radionuclides released from the Fukushima Dai-ichi nuclear reactors using measured air concentrations and atmospheric transport modeling, J. Environ. Radioact. 127 (2014) 127–132.
- [171] STOHL, A., et al., Xenon-133 and caesium-137 releases into the atmosphere from the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant: Determination of the source term, atmospheric dispersion, and deposition, Atmos. Chem. Phys. 12 5 (2012) 2313–2343.
- [172] BOWYER, T. W., et al., Elevated radionuclides detected remotely following the Fukushima Nuclear accident, J. Environ. Radioact. 102 7 (2011) 681–687.
- [173] SCHÖPPNER, M., et al., Estimation of the time-dependent radioactive source-term from the Fukushima nuclear power plant accident using atmospheric transport modelling, J. Environ. Radioact. 114 (2012) 10–14.
- [174] TERADA, H., KATATA, G., CHINO, M., NAGAI, H., Atmospheric discharge and dispersion of radionuclides during the Fukushima Dai-ichi nuclear power plant accident. Part II: Verification of the source term and analysis of regional-scale atmospheric dispersion, J. Environ. Radioact. 112 (2012) 141–154.
- [175] SCIENCE COUNCIL OF JAPAN, A Review of the Model Comparison of Transportation and Deposition of Radioactive Materials Released to the Environment as a Result of the Tokyo Electric Power Company's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant Accident (2014), http://www.jpogu.org/scj/report/20140902scj_report_e.pdf
- [176] CHINO, M., et al., Preliminary estimation of release amounts of ¹³¹I and ¹³⁷Cs accidentally discharged from the Fukushima Daiichi nuclear power plant into the atmosphere, J. Nucl. Sci. Technol. 48 7 (2011) 1129–1134.
- [177] BUESSELER, K., AOYAMA, M., FUKASAWA, M., Impacts of the Fukushima nuclear power plants on marine radioactivity, Environ. Sci. Technol. 45 23 (2011) 9931–9935.
- [178] EUROPEAN COMMISSION, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, WORLD HEALTH ORGANIZATION, One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident, IAEA, Vienna (1996).
- [179] Chernobyl: Looking Back to Go Forward (Proc. Int. Conf Vienna, 2005), IAEA, Vienna (2005).
- [180] INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETÉ NUCLÉAIRE, Accident de la Centrale de Fukushima Daiichi: Modélisation de la Dispersion des Rejets Radioactifs dans l'Atmosphère à l'Échelle Mondiale (2011),

- http://www.irs.fr/FR/popup/Pages/irs-meteo-france_30mars.aspx
- [181] Exploring the Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp. Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).
 - [182] MADIGAN, D.J., BAUMANN, Z., FISHER, N.S., Pacific bluefin tuna transport Fukushima-derived radionuclides from Japan to California, *Proceedings of the National Academy of Sciences* 109 24 (2012) 9483-9486.
 - [183] MASUMOTO, Y., "Ocean models: How far/fast does Fukushima contamination travel?", Exploring the Impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp. Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).
 - [184] MASUMOTO, Y., et al., Oceanic dispersion simulations of ¹³⁷Cs released from the Fukushima Daiichi nuclear power plant, *Elements* 8 3 (2012) 207–212.
 - [185] HONDA, M.C., AONO, T., AOYAMA, M., Dispersion of artificial caesium-134 and -137 in the Western North Pacific one month after the Fukushima accident, *Geochem. J.* 46 6 (2012) e1–9.
 - [186] RYPINA, I.I., et al., Short-term dispersal of Fukushima-derived radionuclides off Japan: modeling efforts and model-data intercomparison, *Biogeosciences* 10 1 (2013) 4973–4990.
 - [187] AOYAMA, M., HIROSE, K., IGARASHI, Y., Re-construction and updating our understanding on the global weapons tests ¹³⁷Cs fallout, *J. Environ. Monitor.* 8 4 (2006) 431–438.
 - [188] BUESSELER, K., AOYAMA, M., "Fukushima results", Exploring the impacts of the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plants on the Ocean (Proc. Fukushima Ocean Impacts Symp. Tokyo, 2012), Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA (2012).
 - [189] УПРАВЛЕНИЕ ПО ЯДЕРНОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ. Данные радиационного мониторинга. Данные мониторинга уровня радиоактивности окружающей среды, УЯР, 2015 (на японском языке), <http://radioactivity.nsr.go.jp/ja/list/191/list-1.html>
 - [190] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2000 Report, Vol. I, Sources, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2000).
 - [191] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Reading of Radioactivity Level in Fallout by Prefecture (2011-2015), <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/194/list-1.html>
 - [192] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Airborne Monitoring, <http://radioactivity.nsr.go.jp/en/list/278/list-1.html>
 - [193] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Notice No. 0315 Article 1 of the Department of Food Safety (2012), http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/dl/food-120821_1.pdf
 - [194] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Mission Report: Project NSW 9/13 Assistance in the Use of Radiation Monitoring Data to Develop Maps to be Made Available to the Public, Fukushima Prefecture, 16–19 December 2013 (не опубликовано).
 - [195] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, The Survey Results of Radioactive Materials in Tap Water, MHLW, Tokyo (2011).
 - [196] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, Pergamon Press, Oxford and New York (1991).
 - [197] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas After a Nuclear Accident or a Radiation Emergency, Publication 111, Elsevier, Oxford (2009).
 - [198] EUROPEAN COMMISSION, FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS, INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION, OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, PAN AMERICAN HEALTH ORGANIZATION, UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME, WORLD HEALTH ORGANIZATION, Radiation Protection and Safety of Radiation Sources:

- International Basic Safety Standards, IAEA Safety Standards Series No. GSR Part 3, IAEA, Vienna (2014).
- [199] AKASHI, M., TOMINAGA, T., HACHIYA, M., TATSUZAKI, H., "Medical management of the consequences of the Fukushima nuclear plant incident", Medical Basis for Radiation Accident Preparedness (Proc. 5th Int. REAC/TS Symp. Oak Ridge, 2013), Oak Ridge, TN (2013).
 - [200] YASUMURA, S., GOTO, A., YAMAZAKI, S., REICH, M.R., Excess mortality among relocated institutionalized elderly after the Fukushima nuclear disaster, *Public Health* 127 2 (2013) 186–188.
 - [201] NOMURA, S., et al., Mortality risk amongst nursing home residents evacuated after the Fukushima Nuclear accident: A retrospective cohort study, *PLoS ONE* 8 3 (2013) e60192.
 - [202] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency, Publication 63, Pergamon Press, Oxford and New York (1993).
 - [203] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Publication and Enforcement of “the Ministerial Ordinance for Abolishment of Exemption in the Ordinance on Prevention of Ionizing Radiation Hazards in Response to the Situation Resulting from the Tohoku–Pacific Ocean Earthquake in 2011” (2011),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepcopr/pr_111216.html
 - [204] AKAHANE, K., et al., NIRS external dose estimation system for Fukushima residents after the Fukushima Dai-ichi NPP accident, *Sci. Rep.* 3 (2013) 1670.
 - [205] ISHIKAWA, T., “The basic survey: Estimation of external doses to residents in Fukushima Prefecture”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014,
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/6_S2_Ishikawa.pdf
 - [206] NAGATAKI, S., TAKAMURA, N., KAMIYA, K., AKASHI, M., Measurements of individual radiation doses in residents living around the Fukushima nuclear power plant, *Radiat. Res.* 180 5 (2013) 439–447.
 - [207] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, “Response rates to the basic survey by district. Data as of 31 December 2014” (Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey Fukushima, 2015),
https://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/18-1_Basic_Survey_Appendix.pdf
 - [208] FUKUSHIMA MEDICAL UNIVERSITY, “Basic survey (radiation dose estimates)” (Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey Fukushima, 2015) (2015),
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/media/18-1_Basic_Survey.pdf
 - [209] ГОРОД ДАТЭ. Информационный бюллетень № 8 о восстановлении и возрождении города Датэ: анализ измерений годовой дозы внешнего облучения, 2013 (на японском языке),
<http://www.city.date.fukushima.jp/uploaded/attachment/10035.pdf>
 - [210] TSUBOKURA, M., et al., Absence of internal radiation contamination by radioactive cesium among children affected by the Fukushima Daiichi nuclear power plant disaster, *Health Phys* 108 1 (2015) 39–43.
 - [211] HAYANO, R.S., et al., Whole-body counter survey results 4 months after the Fukushima Dai-ichi NPP accident in Minamisoma City, Fukushima, *J. Radiol. Prot.* 34 4 (2014) 787.
 - [212] HAYANO, R. S., et al., Internal radiocesium contamination of adults and children in Fukushima 7 to 20 months after the Fukushima NPP accident as measured by extensive whole-body-counter surveys, *Proc. Jpn Acad. Ser. B Phys. Biol. Sci.* 89 4 (2013) 157–163.
 - [213] MATSUDA, N., et al., Assessment of internal exposure doses in Fukushima by a whole body counter within one month after the nuclear power plant accident, *J. Radiat. Res.* 179 6 (2013) 663–668.
 - [214] KIM, E., et al., “Screening survey on thyroid exposure for children after the Fukushima Daiichi nuclear power station accident”, Reconstruction of Early Internal Dose in the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident (Proc. 1st NIRS Symp.) (KURIHARA, O.,

- AKAHANE, K., FUKUDA, S., MIYAHARA, N., YONAI, S., Eds), National Institute of Radiological Sciences, Chiba (2012) 59–66.
- [215] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Updated worker doses, official communication (2015).
- [216] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Evaluation of the Exposure Dose of Workers at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station. Attachment: Distribution of Thyroid Equivalent Doses (2015),
http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2015/1248073_6844.html
- [217] MINISTRY OF HEALTH, LABOUR AND WELFARE, Re-evaluation Results of Committed Doses for Emergency Workers at the TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2013),
http://www.mhlw.go.jp/english/topics/2011eq/workers/tepco/rp/pr_130705_a02.pdf
- [218] YASUI, S., Governmental re-evaluation of the committed effective dose received by emergency workers at the TEPCO Fukushima Daiichi NPP accident, J. Occupat. Environ. Hyg. 12 5 (2015) D60–D70.
- [219] DEFENSE THREAT REDUCTION AGENCY, Radiation Dose Assessments for Shore-based Individuals in Operation Tomodachi, DTRA-TR-12-001, DTRA, Fort Belvoir, VA (2012).
- [220] HASHIMOTO, S., et al., “First two-year result of the comprehensive health check as one facet of the Fukushima Health Management Survey” paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014,
[http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/7_S2_Hashimoto_FINAL\(0909\).pdf](http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/7_S2_Hashimoto_FINAL(0909).pdf)
- [221] МЕЖДУНАРОДНАЯ КОМИССИЯ ПО РАДИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЕ, Отчет МКРЗ по тканевым реакциям, ранним и отдаленным эффектам в нормальных тканях и органах – пороговые дозы для тканевых реакций в контексте радиационной защиты, публикация 118 МКРЗ, Челябинск (2012).
- [222] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Result of the Investigation on Exposure to Radiation of Workers from Cooperative Companies at Unit 3 in Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2011),
<http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11032503-e.html>
- [223] ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, A/68/46, ООН, Нью-Йорк (2013).
- [224] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Low-dose Extrapolation of Radiation-related Cancer Risk, Publication 99, Elsevier, Oxford (2005).
- [225] ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Доклад Научного комитета Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации, A/63/46, ООН, Нью-Йорк (2008).
- [226] SUZUKI, S., et al., “Three-Year Results and Future Scope of the Fukushima Thyroid Ultrasound Examination after the Fukushima NPP Accident”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima (2014),
[http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/9_S2_Suzuki_FINAL\(0909\).pdf](http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/9_S2_Suzuki_FINAL(0909).pdf)
- [227] HAYASHIDA, N., et al., Thyroid ultrasound findings in a follow-up survey of children from three Japanese Prefectures: Aomori, Yamanashi, and Nagasaki, Sci. Rep. 5 (2015).
- [228] FUKUSHIMA PREFECTURE, Proc. 18th Prefectural Oversight Committee Meeting for Fukushima Health Management Survey (2015),
http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/results/20150212_Thyroid_Ultrasound_Examination.html
- [229] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Pregnancy and Medical Radiation, Publication 84, Pergamon Press, Oxford and New York (2000).
- [230] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Doses to the Embryo and Fetus from Intakes of Radionuclides by the Mother, Publication 88, Pergamon Press, Oxford and New York (2001).
- [231] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Biological Effects after Prenatal Irradiation (Embryo and Fetus), Publication 90, Pergamon Press, Oxford and New York (2003).

- [232] NOMURA, Y., “Pregnancy and birth survey (by the Radiation Medical Science Center for the Fukushima Health Management Survey)”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014, [http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/10_S2_Nomura_FINAL\(0909\).pdf](http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/10_S2_Nomura_FINAL(0909).pdf)
- [233] NOMURA, Y., FUJIMORI, K., Survey of pregnant women in Fukushima Prefecture and future issues, *Fukushima J. Med. Sci.* 60 2 (2014) 213.
- [234] YASUMURA, S., et al., Study protocol for the Fukushima Health Management Survey, *J. Epidemiol.* 22 5 (2012) 375–383.
- [235] KAWAKAMI, N., Mental Health of Residents Living in Shelters, Japan Epidemiological Association, Tokyo (2014).
- [236] YABE, H., et al., Psychological distress after the Great East Japan Earthquake and Fukushima Daiichi nuclear power plant accident: results of a Mental Health and Lifestyle Survey through the Fukushima Health Management Survey in FY2011 and FY2012, *Fukushima J. Med. Sci.* 60 1 (2014) 57–67.
- [237] KAWAKAMI, N., TSUCHIYA, M., UMEDA, M., KOENEN, K.C., KESSLER, R.C., Trauma and posttraumatic stress disorder in Japan: results from the World Mental Health Japan Survey, *J. Psychiatr. Res.* 53 (2014) 157–165.
- [238] IWADARE, Y., et al., Posttraumatic symptoms in elementary and junior high school children after the 2011 Japan earthquake and tsunami: Symptom severity and recovery vary by age and sex, *J. Pediatrics* 164 4 (2014) 917–921.
- [239] BROMET, E.J., Emotional consequences of nuclear power plant disasters, *Health Phys.* 106 2 (2014) 206–210.
- [240] GOTO, A., et al., Maternal confidence of Fukushima mothers before and after the nuclear power plant disaster in Northeast Japan: analyses of municipal health records, *J. Commun. Healthcare* 7 2 (2014) 106–116.
- [241] BROMET, E. J., et al., Cross-national epidemiology of DSM-IV major depressive episode, *BMC Med.* 9 1 (2011) 90.
- [242] SHIGEMURA, J., TANIGAWA, T., SAITO, I., NOMURA, S., Psychological distress in workers at the Fukushima nuclear power plants, *JAMA* 308 7 (2012) 667–669.
- [243] SHIGEMURA, J., et al., Associations between disaster exposures, peritraumatic distress, and posttraumatic stress responses in Fukushima nuclear plant workers following the 2011 nuclear accident: the Fukushima NEWS project study, *PLoS One* 9 2 (2014) e87516.
- [244] MATSUOKA, Y., et al., Concern over radiation exposure and psychological distress among rescue workers following the Great East Japan Earthquake, *BMC Public Health* 12 (2012) 249.
- [245] BROMET, E.J., Mental health consequences of the Chernobyl disaster, *J Radiol Prot* 32 1 (2012) N71–75.
- [246] BROMET, E.J., HAVENAAR, J. M., Psychological and perceived health effects of the Chernobyl disaster: A 20-year review, *Health Phys* 93 5 (2007) 516–521.
- [247] BROMET, E.J., HAVENAAR, J. M., GUEY, L. T., A 25 year retrospective review of the psychological consequences of the Chernobyl accident, *Clin. Oncol.* 23 4 (2011) 297–305.
- [248] MAEDA, M., et al., “Psychological effects on people in Fukushima: Results of a mental health and lifestyle survey”, paper presented at 3rd Int. Expert Symp. on Beyond Radiation and Health Risk: Toward Resilience and Recovery, Fukushima, 2014, [http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/8_S2_Maeda_FINAL\(0909\).pdf](http://www.fmu.ac.jp/radiationhealth/symposium201409/media/8_S2_Maeda_FINAL(0909).pdf)
- [249] KESSLER, R.C., et al., Screening for serious mental illness in the general population, *Arch. Gen. Psychiatr.* 60 2 (2003) 184–189.
- [250] BLANCHARD, E.B., JONES-ALEXANDER, J., BUCKLEY, T.C., FORNERIS, C.A., Psychometric properties of the PTSD checklist (PCL), *Behav. Res. Ther.* 34 8 (1996) 669–673.
- [251] EWING, J.A., Detecting alcoholism. The CAGE questionnaire, *JAMA* 252 14 (1984) 1905–1907.
- [252] GOODMAN, R., Psychometric properties of the strengths and difficulties questionnaire, *J. Am. Acad. Child Adolesc. Psychiatry* 40 11 (2001) 1337–1345.

- [253] MATSUIISHI, T., et al., Scale properties of the Japanese version of the strengths and difficulties questionnaire (SDQ): A study of infant and school children in community samples, *Brain Dev.* 30 6 (2008) 410–415.
- [254] OGURI, K., et al., Hadal disturbance in the Japan Trench induced by the 2011 Tohoku–Oki earthquake, *Sci. Rep.* 3 (2013).
- [255] ЦЕНТР БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЯПОНИИ. Официальный сайт о последствиях землетрясения и цунами (на японском языке), <http://www.shiokaze.biodic.go.jp>
- [256] NAKAJIMA, H., KOARAI, M., Assessment of tsunami flood situation from the Great East Japan Earthquake, *Bull. Geosp. Inf. Auth. Jpn.* 59 (2011) 55–66.
- [257] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, A Framework for Assessing the Impact of Ionising Radiation on Non-human Species, Publication 91, Pergamon Press, Oxford and New York (2003).
- [258] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Protection of the Environment Under Different Exposure Situations, Publication 124, Pergamon Press, Oxford and New York (2014).
- [259] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Environmental Protection: Transfer Parameters for Reference Animals and Plants, Publication 114, Elsevier, Oxford (2009).
- [260] LINKOV, I., BURMISTROV, D., Model uncertainty and choices made by modelers: Lessons learned from the International Atomic Energy Agency model intercomparisons, *Risk Anal.* 23 6 (2003) 1297–1308.
- [261] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 2008 Report, Vol. II, Scientific Annexes C, D and E, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (2011).
- [262] UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), UNSCEAR 1996 Report, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York (1996).
- [263] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Радиационная защита и безопасность источников излучения: международные основные нормы безопасности (промежуточное издание), Серия норм безопасности МАГАТЭ, № GSR Part 3 (Interim), МАГАТЭ, Вена (2011). (Данная публикация заменена публикацией GSR Part 3 (2014)).
- [264] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Summary Report of the Preliminary Findings of the IAEA Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site the Fukushima Dai-ichi NPP (2011), <https://www.iaea.org/sites/default/files/preliminaryfindings2011.pdf>
- [265] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-Site the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2013), https://www.iaea.org/sites/default/files/final_report230114.pdf
- [266] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Basic Principles of the Act on Special Measures Concerning the Handling of Environment Pollution by Radioactive Materials Discharged from the Nuclear Power Station Accident Associated with the Tohoku District—Off the Pacific Ocean Earthquake that Occurred on March 11, 2011 (2011), http://josen.env.go.jp/en/framework/pdf/basic_principles.pdf
- [267] GOLIKOV, V., et al., Evaluation of conversion coefficients from measurable to risk quantities for external exposure over contaminated soil by use of physical human phantoms, *Radiat. Environ. Biophys* 46 4 (2007) 375–382.
- [268] CABINET OFFICE, "Designating and rearranging the areas of evacuation", paper presented at Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-Site the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.
- [269] FUKUSHIMA PREFECTURE, Steps for Revitalization in Fukushima (2014), <http://www.pref.fukushima.lg.jp.e.od.hp.transer.com/sec/11015b/fukkoukeikaku1081.html>
- [270] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Areas to which Evacuation Orders have been Issued (2013),

- http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/roadmap/pdf/20130807_01.pdf
- [271] JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY, Use of Knowledge and Experience Gained from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Accident to Establish the Technical Basis for Strategic Off-Site Response (2015),
<http://jolissrch-inter.tokai-sc.jaea.go.jp/search/servlet/search?5049878>
 - [272] JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY, Remediation of Contaminated Areas in the Aftermath of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Station: Overview, Analysis and Lessons Learned, Part 1: A Report on the “Decontamination Pilot Project”, JAEA-Review 2014-051, JAEA, Tokyo (2015).
 - [273] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Progress on Off-site Clean-up Efforts in Japan (2015),
http://josen.env.go.jp/en/pdf/progressseet_progress_on_cleanup_efforts.pdf?150113
 - [274] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, Unit prices for decontamination in the special decontamination areas as directly controlled by the national government, official communication (2015).
 - [275] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4, TEPCO (2011),
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/111221_02.pdf
 - [276] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Revised Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (2013),
http://josen.env.go.jp/en/documents/pdf/workshop_july_17-18_2013_02.pdf
 - [277] INTER-MINISTERIAL COUNCIL FOR CONTAMINATED WATER AND DECOMMISSIONING ISSUES, Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2015).
 - [278] Act for Establishment of the Nuclear Regulation Authority, Act No. 47, 27 June, 2012, as amended by Act No. 82 of 2013 (Japan),
<https://www.nsr.go.jp/data/000067231.pdf>
 - [279] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Implementation Plan of the Measures to be taken at Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Designated as a Specified Reactor Facility (Outline) (2012),
http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/images/handouts_12120701-e.pdf
 - [280] NUCLEAR REGULATION AUTHORITY, Measures for Mid-Term Risk Reduction at TEPCO's Fukushima Daiichi NPS (2015),
<http://www.nsr.go.jp/data/000098679.pdf>
 - [281] CONTAMINATED WATER TREATMENT MEASURES COMMITTEE, Measures for the Prevention of Groundwater Inflow, TEPCO (2012).
 - [282] GOVERNMENT OF JAPAN, TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status and Future Challenges of Mid-to-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of Units 1–4 of TEPCO Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (2012),
<http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/m121203-e.pdf>
 - [283] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Comments received on Section 5, official communication (2 March 2015).
 - [284] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Contaminated Water Treatment (2015),
<http://www.tepco.co.jp/en/decommision/planaction/alps/index-e.html>
 - [285] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Fukushima Daiichi NPS Prompt Report 2014: Bypass of Clean Groundwater to Ocean Starts (2014),
http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/2014/1236566_5892.html
 - [286] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Measures to stop or reduce ingress of groundwater into reactor and turbine buildings", paper presented at IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1-4 (Second Mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.

- [287] MINISTRY OF ECONOMY, TRADE AND INDUSTRY, Fact Sheet: Overview of Contaminated Water Issue at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station, Agency for Natural Resources and Energy (2013),
http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20130822_01.pdf
- [288] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (Second Mission) (2014),
<http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140213003/20140213003-2.pdf>
- [289] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (Third Mission) (2015),
<https://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport170215.pdf>
- [290] ТОКИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ. Завершение выемки топлива из бассейна выдержки отработавшего топлива 4-го блока АЭС "Фукусима-дайити", 2014 (на японском языке),
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2014/images/handouts_141222_04-j.pdf
- [291] NUCLEAR EMERGENCY RESPONSE HEADQUARTERS, Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2013),
http://www.meti.go.jp/english/press/2013/pdf/0627_01.pdf
- [292] МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, Снятие с эксплуатации установок, в которых используется радиоактивный материал, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № WS-R-5, МАГАТЭ, Вена (2009). (Данная публикация заменена публикацией GSR Part 6 (2014)).
- [293] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Decommissioning and Remediation after a Nuclear Accident, IAEA, Vienna (2013).
- [294] OECD NUCLEAR ENERGY AGENCY, Nucl. Law Bull. 90 2 (2012).
- [295] GOVERNMENT OF JAPAN, Flow chart of specified waste and contaminated soil management in other prefectures, official communication (2015).
- [296] ТОКИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ. Среднесрочные и долгосрочные планы хранения твердых отходов с атомной электростанции "Фукусима-дайити" (проект), 2014 (на японском языке),
http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/roadmap/images/1140407_05-j.pdf
- [297] ТОКИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ. Установка технических средств для контейнеров временного сухого хранения, 2014 (на японском языке),
http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/120625/120625_02cc.pdf
- [298] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, A Mid-and-long-term plan for storage of solid wastes in Fukushima Daiichi NPS, official communication (2014).
- [299] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, "Radioactive Waste Management — Toward the decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4", paper presented at IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (Second Mission), Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.
- [300] TOKYO ELECTRIC POWER COMPANY, Progress Status of Mid-and-Long-Term Roadmap Towards the Decommissioning of Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2012),
<http://www.tepco.co.jp/en/nu/fukushima-np/roadmap/images/m120730-e.pdf>
- [301] SECRETARIAT OF THE TEAM FOR COUNTERMEASURES FOR DECOMMISSIONING AND CONTAMINATED WATER TREATMENT, Summary of Decommissioning and Contaminated Water Management (2014),
<http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20140529-e.pdf>
- [302] INTERNATIONAL COMMISSION ON RADIOLOGICAL PROTECTION, Reports from ICRP Dialogue Initiatives (2014),
<http://www.icrp.org/page.asp?id=189>
- [303] JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION, 2011 JETRO Global Trade and Investment Report: International Business as a Catalyst for Japan's Reconstruction, JETRO, Tokyo (2011).

- [304] FISHERIES AGENCY, The Leakage of Contaminated Water at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station and the Safety of Fishery Products (2015).
- [305] FOOD STANDARDS AGENCY, Import of Feed and Food Originating in or Consigned from Japan (2012),
http://www.food.gov.uk/business-industry/imports/banned_restricted/japan#.UKS7deQ0V8E
- [306] JAPAN EXTERNAL TRADE ORGANIZATION, JETRO Global Trade and Investment Report — Overview (2014),
http://www.jetro.go.jp/en/reports/white_paper/trade_invest_2014.pdf
- [307] Act on Compensation for Nuclear Damage, 1961, Act. Nr. 147, as amended by Act Nr. 19 in 2009.
- [308] МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, КУЛЬТУРЫ, СПОРТА, НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ, КОМИТЕТ ПО УРЕГУЛИРОВАНИЮ СПОРОВ В ОТНОШЕНИИ ВОЗМЕЩЕНИЯ ЗА ЯДЕРНЫЙ УЩЕРБ. Предварительные руководящие принципы определения масштабов ядерного ущерба в результате аварии на атомных электростанциях "Фукусима-дайити" и "Фукусима-дайни" Токийской электроэнергетической компании, 2011 (на японском языке),
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/kaihatu/016/houkoku/_icsFiles/afieldfile/2011/08/17/1309452_1_2.pdf
- [309] ТОКИЙСКАЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ КОМПАНИЯ. Возмещение дополнительных расходов, связанных с досрочным возвращением после отмены распоряжения об эвакуации, 2014 (на японском языке),
http://www.tepco.co.jp/cc/press/2014/1235026_5851.html
- [310] PERKO, T., VALUCH, J., NAGY, A., LAMMERS, P., MAYS, C., Overview of Mass and New Media Treatment of Ionizing Radiation Topics: The Case of Fukushima, EAGLE Coordination Project (2013),
<http://eagle.sckcen.be/en/Deliverables>
- [311] FUKUSHIMA PREFECTURE, Steps for Revitalization in Fukushima, Fukushima Prefecture (2013).
- [312] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, FUKUSHIMA PREFECTURE, Decontamination Information Plaza (2013).
- [313] MINISTRY OF THE ENVIRONMENT, "Stakeholder communication overview for decontamination", paper presented at Follow-up IAEA International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site of the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, Tokyo and Fukushima Prefecture, 2013.
- [314] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Enhancing Transparency and Communication Effectiveness in the Event of a Nuclear or Radiological Emergency, IAEA, Vienna (2012).
- [315] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Director General Calls for High Level Conference to Strengthen Nuclear Safety (2011),
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-director-general-calls-high-level-conference-strengthen-nuclear-safety>
- [316] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Final Report of the International Mission on Remediation of Large Contaminated Areas Off-site the Fukushima Dai-ichi NPP (2011),
http://www.mofa.go.jp/mofaj/saigai/pdfs/iaea_mission_1110_en.pdf
- [317] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Mission to Review NISA's Approach to the Comprehensive Assessments for the Safety of Existing Power Reactor Facilities Conducted in Japan (2012),
<https://www.iaea.org/sites/default/files/nisamissionreport2012.pdf>
- [318] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Mission to Onagawa Nuclear Power Station to Examine the Performance of Systems, Structures and Components Following the Great East Japanese Earthquake and Tsunami (2012).
- [319] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA International Peer Review Mission on Mid-and-Long-Term Roadmap towards the Decommissioning of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station Units 1–4 (2013),
<http://www.iaea.org/sites/default/files/missionreport220513.pdf>

- [320] Заявление Конференции МАГАТЭ по ядерной безопасности на уровне министров, Вена, 20 июня 2011 года, INFCIRC/821, МАГАТЭ, Вена (2011).
- [321] Меры по укреплению международного сотрудничества в области ядерной безопасности, радиационной безопасности, безопасности перевозки и безопасности отходов, резолюция GC(57)/RES/9, МАГАТЭ, Вена (2013).
- [322] Ход осуществления Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, GOV/INF/2012/11-GC(56)/INF/5, МАГАТЭ, Вена (2012).
- [323] Ход осуществления Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, GOV/INF/2013/8-GC(57)/INF/5, МАГАТЭ, Вена (2013).
- [324] Ход осуществления Плана действий МАГАТЭ по ядерной безопасности, GOV/INF/2014/15-GC(58)/INF/7, МАГАТЭ, Вена (2014).
- [325] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Protection against Extreme Earthquakes and Tsunamis in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2012).
- [326] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Radiation Protection after the Fukushima Daiichi Accident: Promoting Confidence and Understanding, IAEA, Vienna (2014).
- [327] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Preparedness and Response for a Nuclear or Radiological Emergency in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2013).
- [328] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA Report on Strengthening Nuclear Regulatory Effectiveness in the Light of the Accident at the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant, IAEA, Vienna (2013).
- [329] Memorandum of Cooperation between Fukushima Prefecture and the International Atomic Energy Agency Following the Accident at TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Station (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_04.pdf
- [330] Practical Arrangements between Fukushima Prefecture and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Radiation Monitoring and Remediation (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_05.pdf
- [331] Practical Arrangements between Fukushima Medical University and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Human Health (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_06.pdf
- [332] Practical Arrangements between the Ministry of Foreign Affairs of Japan and the International Atomic Energy Agency on Cooperation in the Area of Emergency Preparedness and Response (2012),
http://www.mofa.go.jp/policy/energy/fukushima_2012/pdfs/fukushima_iaea_en_07.pdf
- [333] INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, IAEA and Japan Host Fukushima Ministerial Conference on Nuclear Safety (2012),
<https://www.iaea.org/newscenter/news/iaea-and-japan-host-fukushima-ministerial-conference-nuclear-safety>
- [334] Конвенция о ядерной безопасности, INFCIRC/449, МАГАТЭ, Вена (1994).
- [335] АГЕНТСТВО ПО ЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИИ ОЭСР, ВСЕМИРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ЕВРОПЕЙСКОЕ СООБЩЕСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ, МЕЖДУНАРОДНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ТРУДА, МЕЖДУНАРОДНОЕ АГЕНТСТВО ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ, ПАНАМЕРИКАНСКАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ, ПРОГРАММА ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ ПО ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ, ПРОДОВОЛЬСТВЕННАЯ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ, Основополагающие принципы безопасности: основы безопасности, Серия норм безопасности МАГАТЭ, № SF-1, МАГАТЭ, Вена (2007).
- [336] Конвенция о ядерной безопасности. Правила процедуры и Финансовые правила, INFCIRC/573/Rev.6, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [337] Руководящие принципы, касающиеся процесса рассмотрения в соответствии с Конвенцией о ядерной безопасности, INFCIRC/571/Rev.7, МАГАТЭ, Вена (2015).

- [338] Руководящие принципы, касающиеся национальных докладов, которые представляются в соответствии с Конвенцией о ядерной безопасности, INFCIRC/572/Rev.5, МАГАТЭ, Вена (2015).
- [339] 2-е Внеочередное совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности: окончательный вариант краткого доклада, CNS/ExM/2012/04/Rev.2 (2012), http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety_convention/2012-cns-summary-report-for-web-r.pdf
- [340] 6-е Совещание договаривающихся сторон Конвенции о ядерной безопасности по рассмотрению: краткий доклад, CNS/6RM/2014/11_Final (2014), http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety_convention/2014-cns-summary-report-russian-final.pdf
- [341] Итоговый доклад и Венское заявление о ядерной безопасности, CNS/DC/2015/3/Rev.2 (2015), http://www-ns.iaea.org/downloads/ni/safety_convention/diplomatic-conference/summary-report-with-annexs-russian.pdf

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

АДГ	аварийный дизель-генератор
АПРЭ	Агентство по природным ресурсам и энергетике
АЭС	атомная электростанция
АЯПБ	Агентство по ядерной и промышленной безопасности
АЯЭ/ОЭСР	Агентство по ядерной энергии ОЭСР
Бк	беккерель
ВКВ	всемирное координированное время
ВМО	Всемирная метеорологическая организация
ВОБ	вероятностная оценка безопасности
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ВСАР	вспомогательная система аварийного реагирования
Гр	грей
ДЖАМСТЕК	Японское агентство мореземледческой науки и техники
ДИ	Доверительный интервал
ЕК	Европейская комиссия
ЗАП	зона аварийного планирования
Зв	зиверт
ЗО	защитная оболочка
ИАКРНЕ	Межучрежденческий комитет по радиологическим и ядерным аварийным ситуациям
ИГФ	институт геодезии и фотограмметрии
ИНЕС	Международная шкала ядерных и радиологических событий
ИНСАГ	Международная группа по ядерной безопасности
ИПММС	Институт проблем математических машин и систем
ИРРС	комплексные услуги по рассмотрению вопросов регулирования
КДВ	Конвенция о дополнительном возмещении за ядерный ущерб
КИОНТ	Корейский институт океанографических наук и технологий
КТ	контрольная точка
КЯБ	Комиссия по ядерной безопасности Японии
МВ	морская вода
мГр	миллигрей
местный ШРЯС	местный Штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию
мЗв	миллизиверт
МЗТБ	министерство здравоохранения, труда и благосостояния
мкГр	микрогрей
мкЗв	микрозиверт
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
ММТП	министерство международной торговли и промышленности
МО (ССО)	министерство обороны (силы самообороны)
МОКСНТ	министерство образования, культуры, спорта, науки и технологий
МОС	министерство окружающей среды
МОТ	Международная организация труда
МП	моторный привод
МПа	мегапаскаль
МСЛР	министерство сельского хозяйства, лесоводства и рыболовства
МСХ США	министерство сельского хозяйства Соединенных Штатов Америки

МЭТП	министерство экономики, торговли и промышленности
НИОКР	научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы
НИРН	Национальный институт радиологических наук
НИЭИ	Национальный институт экологических исследований
НКДАР ООН	Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации
ОБЯЭЯ	Организация по безопасности ядерной энергетики Японии
ОНБ	Основные нормы безопасности
ОП	Онагама-порт (реперная отметка)
ОПС	общий психологический стресс
ОСРЯАС	Объединенный совет по реагированию на ядерную аварийную ситуацию
ПАОЗ	Панамериканская организация здравоохранения
ПБк	петабеккерель
ПВ	пресная вода
перем. ток	переменный ток
ПЗО	первичная защитная оболочка
пост. ток	постоянный ток
ПСП	посттравматические стрессовые реакции
РАНЕТ	Сеть реагирования и оказания помощи МАГАТЭ
РЕМАТ	Группа по оказанию медицинской помощи при радиационной аварийной ситуации
СГГК США	служба геологии, геодезии и картографии Соединенных Штатов Америки
СИАС	система по инцидентам и аварийным ситуациям
СМЭ	совещание международных экспертов
Совместный план	План международных организаций по совместному управлению радиационными аварийными ситуациями
СПИДИ	Система прогнозирования информации о средовой аварийной дозе
ТЕПКО	Токийская электроэнергетическая компания
УЖР	условные животные и растения
УЯР	Управление по ядерному регулированию
ФАО	Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций
ЦАР-АЭС	центр аварийного реагирования “Фукусима-Дайити” на АЭС
ЦАР-ШК ТЕПКО	Центр аварийного реагирования в штаб-квартире ТЕПКО
ЦИАС	Центр по инцидентам и аварийным ситуациям
ШРЯАС	Штаб реагирования на ядерную аварийную ситуацию
ЭБ	энергетический блок (энергоблок)
ЮНЕП	Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде
ЯААЭ	Японское агентство по атомной энергии
ЯМА	Японское метеорологическое агентство
ALPS	усовершенствованные системы водоочистки
ConvEx	учения в рамках конвенций
СRIEP1	Центральный научно-исследовательский институт электроэнергетической промышленности
ENATOM	Техническое пособие по оповещению и оказанию помощи в аварийных ситуациях
HRPI	впрыск охлаждающей воды под высоким давлением
IC	изоляционный конденсатор

IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (Институт радиационной защиты и ядерной безопасности)
JCO	Японская компания по конверсии ядерного топлива
JCOPET	включающая моделирование приливных процессов региональная «вложенная» модель Японской программы по изучению предсказуемости океанологических процессов в прибрежной зоне
JKEO	обсерватория для наблюдения за продолжением течения Куроисио ДЖАМСТЕК
JST	японское поясное время
KEO	обсерватория для наблюдения за продолжением течения Куроисио
KNOT	Киодо-наблюдение Северо-Тихоокеанских временных рядов
Kobe U	Университет Кобэ
MSSG	мультимасштабный симулятор геосреды
NDF	Корпорация по содействию возмещению ядерного ущерба и выводу из эксплуатации
RCIC	система охлаждения активной зоны реактора в условиях изоляции
WHOI	Океанографический институт в Вудс-Хоуле

СОСТАВИТЕЛИ И РЕЦЕНЗЕНТЫ

Секретариат МАГАТЭ

Управление проектом

Руководитель проекта
Caruso, G.

*Специалисты по аналитическому
управлению проектом*
Bevington, L. (старший сотрудник по
вопросам безопасности)
Boreta, B.
Massegg, V.

Координатор по графике и данным
Zimmermann, M.

Графический дизайнер
Kasper, M.

Помощник по вопросам осуществления
Gutierrez Flores, S.

Помощник группы
Fitzpatrick, L.

*Разработчики технической документации и
редакторы*

Boemeke, M.
Delves, D.
Harbison, S.
McDonald, A.
Ramesh, G.V.
Robinson, C.

Ученый секретарь совещаний сопредседателей
Webster, P.

Внешние рецензенты

Alonso, A., Испания
Gray, R., Соединенное Королевство
Robinson, I., Соединенное Королевство
Simmonds, J., Соединенное Королевство
Webster, P., Канада

РАБОЧАЯ ГРУППА 1 (PG1): ОПИСАНИЕ И ОБСТОЯТЕЛЬСТВА АВАРИИ

Сопредседатели

Jammal, R.
Комиссия по ядерной безопасности Канады
Канада

Vincze, P.
Департамент ядерной энергии
МАГАТЭ

Kim, H.T.
Центральный научно-исследовательский
институт КГЯЭ
Республика Корея

Krijger, H.
Электроэнергетическая компания Южных
Нидерландов
Нидерланды

Ученый секретарь

Heitsch, M. (до августа 2014 года)
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Lequerica, I.
Эндеса
Испания

Noel, M.
Объединенный исследовательский центр
Европейской комиссии

Члены

Dobrzyński, L.
Национальный центр ядерных исследований
Польша

Долганов, К.
Институт проблем безопасного развития
ядерной энергетики Российской
академии наук
Российская Федерация

Duspiva, J.
АО "Институт ядерных исследований, Ржеж"
Чешская Республика

Grant, I.
Федеральное управление по ядерному
регулированию
Объединенные Арабские Эмираты

Guerpinar, A.
Старший консультант
Турция

Hirano, M.
Управление по ядерному регулированию
Япония

Khouaja, H.
Комиссия по ядерной безопасности Канады
Канада

Orders, W.
Комиссия по ядерному регулированию
США

Urzua, G.
АРЕВА
Франция

Volkholz, P.
АРЕВА
Франция

Weidenbrück, K.
Федеральное министерство окружающей
среды, охраны природы и безопасности
ядерных реакторов
Германия

Weiss, S.
Общество по безопасности реакторов и
установок
Германия

Zheng, M.G.
Шанхайский научно-исследовательский и
проектно-конструкторский институт
ядерной техники
Китай

Приглашенные эксперты

Dodo, T.
Японский институт ядерной безопасности
Япония

Ihara, T.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Kanno, M.
Управление по ядерному регулированию
Япония

Kawano, A. (до августа 2013 года)
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Muftuoglu, K.
"Дженерал электрик хитати ньюклеар
энерджи"
США

Taira, J.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Yamamoto, M. (с августа 2013 года)
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Сотрудники Секретариата МАГАТЭ, оказывавшие содействие РГ 1

Kang, K.-S.
Kilic, N.
Pagannone, B.
Yamada, K.
Yoshimoto, Y.

РАБОЧАЯ ГРУППА 2 (РГ2): ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ

Сопредседатели

Chande, S.
Регулирующий орган по атомной энергии
Индия

Hughes, P. (до августа 2014 года)
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Ulses, A. (с августа 2014 года)
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Ученый секретарь

Апаркин, Ф.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Члены

Alonso, J.R.
Совет по ядерной безопасности
Испания

Ayub, M.
Ядерный регулирующий орган Пакистана
Пакистан

Bucalossi, A.
Объединенный исследовательский центр
Европейской комиссии

Chaikiat, P.
Шведское управление по радиационной
безопасности
Швеция

Dermarkar, F.
Группа владельцев реакторов CANDU
Канада

Foucher, L.
Французское управление по ядерной
безопасности
Франция

Gauntt, R.
Сандийские национальные лаборатории
США

Giannelli, I.A.
АО "Словенские электрарне" (дочерняя
компания "Энел")
Италия

Godoy, A.R.
"Джеймс Дж. Джонсон энд ассошиэйтс"
Аргентина

Gonzalez, V.
Национальная комиссия по ядерной
безопасности и гарантиям
Мексика

Harrison, S.
Управление по ядерному регулированию
Соединенное Королевство

Heppell-Masys, K.
Комиссия по ядерной безопасности Канады
Канада

Hoshi, H.
Управление по ядерному регулированию
Япония

Kajimoto, M.
Управление по ядерному регулированию
Япония

Kuivalainen, H.
Управление по радиационной и ядерной
безопасности
Финляндия

Ланкин, М.
Федеральная служба по экологическому,
технологическому и атомному надзору
Российская Федерация

de L'Epinois, B.
АРЕВА
Франция

Macchi, L.
"Дедадь"
Франция

Mildenberger, O.
Общество по безопасности реакторов и
установок
Германия

Misak, J.
АО "Институт ядерных исследований, Ржеж"
Чешская Республика

Perryman, L.
"Эском"
Южная Африка

Ryser, C.
Швейцарская федеральная инспекция по
ядерной безопасности
Швейцария

Song, J.H.
Корейский научно-исследовательский
институт атомной энергии
Республика Корея

Weidenbrück, K.
Федеральное министерство окружающей
среды, охраны природы и безопасности
ядерных реакторов
Германия

**Приглашенные эксперты и контактные
лица**

Donges, A.
Институт эксплуатации АЭС
США

Haber, S.
"Хьюман перформанс анализис корп."
США

Harter, R.
Группа владельцев кипящих реакторов
США

Hatamura, Y.
Токийский университет
Япония

Ihara, T.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Iino, K.
СИДРОУЗ
Япония

Kunito, S.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Nakagawa, Y.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Takizawa, S.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Watford, G.
"Дженерал электрик хитати ньюклеар
энерджи"
США

Yamanaka, Y.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

**Сотрудники Секретариата МАГАТЭ,
оказывавшие содействие РГ 2**

Beltran, F.
Earle, K.
Haage, M.
Haber, S.
Roveti, B.
Rycraft, H.
Skarbo, B.
Yllera, J.
Yoshimoto, Y.

РАБОЧАЯ ГРУППА 3 (РГЗ): АВАРИЙНАЯ ГОТОВНОСТЬ И РЕАГИРОВАНИЕ

Сопредседатели

Drábová, D.
Государственное управление ядерной
безопасности
Чешская Республика

Буглова, Е.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Ученый секретарь

Shiraga, K.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Члены

Aaltonen, H.
Управление по радиационной и ядерной
безопасности
Финляндия

Ahier, B.
Управление радиационной защиты
Канада

Bardelay, J.
Институт радиационной защиты и ядерной
безопасности
Франция

Blackburn, C.
Продовольственная и сельскохозяйственная
организация Объединенных Наций

Вугон, Д.[†]
Продовольственная и сельскохозяйственная
организация Объединенных Наций

Chen, P. (до июня 2014 года)
Всемирная метеорологическая организация

Чугунов, В.
Государственная корпорация по атомной
энергии "Росатом"
Российская Федерация

Cortes Carmona, A.
Национальная комиссия по ядерной
безопасности и гарантиям
Мексика

Dela Rosa, A.
Филиппинский институт ядерных
исследований
Филиппины

Harou, A. (с июня 2014 года)
Всемирная метеорологическая организация

Hernández, D.
Управление по ядерному регулированию
Аргентина

Homma, T.
Японское агентство по атомной энергии
Япония

Hubbard, L.
Шведское управление по радиационной
безопасности
Швеция

Kelly, N.
Старший консультант
Соединенное Королевство

Кенигсберг, Я.[†]
Национальная комиссия по радиационной
защите
Беларусь

Maree, M.
"Эском"
Южная Африка

McClelland, V.
Министерство энергетики
США

[†] Скончался.

Molina, G.
Национальный институт ядерных
исследований
Мексика

Pascal, G.
Объединенный исследовательский центр
Европейской комиссии

Sigouin, L.
Комиссия по ядерной безопасности Канады
Канада

Soufi, I.
Национальный центр ядерной энергии,
науки и технологии
Марокко

Sumargo, D.E.
Агентство по ядерному регулированию
Индонезия

Takahara, S.
Японское агентство по атомной энергии
Япония

de la Vega, R.
Совет по ядерной энергии
Испания

**Приглашенные эксперты и контактные
лица**

Taminami, T.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Tanigawa, K.
Хиросимский университет
Япония

Tominaga, T.
Национальный институт радиологических
наук
Япония

Wiley, A.
Центр/учебная площадка по оказанию
помощи в радиационных аварийных
ситуациях – сотрудничающий центр ВОЗ
США

Yamashita, S.
Нагасакский университет
Япония

**Сотрудники Секретариата МАГАТЭ,
оказывавшие содействие РГ 3**

Callen, J.
Chaput, J.
Kaiser, P.
Martincic, R.
McKenna, T.
Mutluer, A.
Nestoroska Madjunarova, S.
Vilar Welter, P.
Yoshimoto, Y

РАБОЧАЯ ГРУППА 4 (РГ4): РАДИОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ

Сопредседатели

González, A.
Управление по ядерному регулированию
Аргентина

Chhem, R. (до августа 2014 года)
Департамент ядерных наук и применений
МАГАТЭ

Meghzifene, A. (с сентября 2014 года)
Департамент ядерных наук и применений
МАГАТЭ

Pinak, M.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Ученый секретарь

Müskens, P. (до августа 2013 года)
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Bevington, L. (с сентября 2013 года)
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Члены

Akashi, M.
Национальный институт радиологических
наук
Япония

Betancourt, A.
Агентство по ядерной энергии и передовым
технологиям
Куба

Blumenthal, D.
Национальное управление ядерной
безопасности
Министерство энергетики
США

Bromet, E.J.
Университет штата Нью-Йорк в
Стоуни-Брук
США

Brown, J.
Норвежское управление по радиационной
защите
Норвегия

Coleman, C.N.
Национальный институт рака
США

Демидчук, Ю.
Национальная академия наук Беларуси и
Белорусская медицинская академия
последипломного образования
Беларусь

Dobrzyński, L.
Национальный центр ядерных исследований
Польша

Gallego, E.
Мадридский политехнический университет
Испания

Haquin, G.
Центр ядерных исследований "Сорек"
Израиль

Jones, C.G.
Постоянное представительство Соединенных
Штатов Америки при МАГАТЭ в Вене и
Комиссия по ядерному регулированию
США

Lee, J.K.
Ханьянский университет
Республика Корея

Magnusson, S.
Исландское управление по радиационной
безопасности
Исландия

Mason, C.
"БХП Биллитон"
Австралия

McEwan, A.C.
Старший консультант
Новая Зеландия

McGinnity, P.A.
Агентство по охране окружающей среды
Ирландия

Ng, K.H.
Малайский университет
Малайзия

Niwa, O.
Киотский университет и Фукусимский
медицинский университет
Япония

Pentreath, R.J.
Редингский университет
Соединенное Королевство

Perrin, M.L.
Французское управление по ядерной
безопасности
Франция

Rochedo, E.
Координация по вопросам ядерных
установок
Бразилия

Шинкарев, С.
Федеральное медико-биологическое
агентство
Российская Федерация

Sundell-Bergman, S.
Шведский университет
сельскохозяйственных наук
Швеция

Thomas, G.
Имперский колледж Лондона
Соединенное Королевство

Valentin, J.
"Джек Валентин радиолоджикал протекшн"
Швеция

Приглашенные эксперты и контактные лица

Brenner, A.
Национальный институт рака
США

Chino, M.
Японское агентство по атомной энергии
Япония

Fukui, T.
Управление по ядерному регулированию
Япония

Иванов, В.
Национальный радиационно-
эпидемиологический регистр
Российская Федерация

Makihira, A.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

Nagataki, S.
Нагасакский университет
Япония

Ohtsuru, A.
Фукусимский медицинский университет
Япония

Сотрудники Секретариата МАГАТЭ, оказывавшие содействие РГ 4

Harms, A.V.
McGinnity, P.A.
Nies, H.
Osvath, I.
Sakai, K.
Yonehara, H.

РАБОЧАЯ ГРУППА 5 (PG5): ПОСЛЕАВАРИЙНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ

Сопредседатели

Williams, G.
Австралийское агентство по радиационной
защите и ядерной безопасности
Австралия

Mele, I.
Департамент ядерной энергии
МАГАТЭ

Proehl, G.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Ученый секретарь

Delaunay, N.
Департамент ядерной и физической
безопасности
МАГАТЭ

Члены

Al-Masri, M.S.
Комиссия по атомной энергии Сирии
Сирийская Арабская Республика

Балонов, М.
Санкт-Петербургский научно-
исследовательский институт
радиационной гигиены
Российская Федерация

Bassanelli, A.
Согин – Компания по управлению АЭС
Италия

Brennecke, P.
Старший консультант
Германия

Darko, E.O.
Комиссия по атомной энергии Ганы
Гана

Gallay, F.
Французское управление по ядерной
безопасности
Франция

Howard, B.J.
Центр экологии и гидрологии
Соединенное Королевство

Inoue, T.
Центральный научно-исследовательский
институт электроэнергетической
промышленности
Япония

Kifanga, L.D.
Комиссия по атомной энергии Танзании
Объединенная Республика Танзания

Nakayama, S.
Японское агентство по атомной энергии
Япония

Oughton, D.H.
Норвежский университет биологических
наук
Норвегия

Rowan, D.
"Атомик энерджи оф Кэнада лимитед"
Канада

Seitz, R.
Саванна-Риверская национальная
лаборатория
США

Токаревский, В.
Институт проблем Чернобыля
Украина

Zelevnik, N.
Региональный экологический центр
Словения

Приглашенные эксперты и контактные лица

Belencan, H.
Старший консультант
США

Negin, C.
"Проджект энхансмент корпорейшн"
США

Takizawa, S.
Токийская электроэнергетическая компания
Япония

**Сотрудники Секретариата МАГАТЭ,
оказывавшие содействие РГ 5**

Izumo, A.
Фесенко, С.
Kumano, Y.
Monken-Fernandes, H.
Sakai, K.
Walker, J.
Янкович, Т.
Yonehara, H.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНСУЛЬТАТИВНАЯ ГРУППА

Председатель

Meserve, R.
Международная группа по ядерной безопасности

Ученый секретарь

Bevington, L.
Департамент ядерной и физической безопасности
МАГАТЭ

Члены

Асмолов, В.Г.
ОАО "Концерн Росэнергоатом"

Carrière, J.M.
Всемирная метеорологическая организация

Clement, C.
Международная комиссия по радиологической защите

Cousins, C.
Международная комиссия по радиологической защите

De Boeck, B.
Международная группа по ядерной безопасности

Echavarrí, L.E. (до апреля 2014 года)
Агентство по ядерной энергии ОЭСР

Ellis, K.
Всемирная ассоциация организаций, эксплуатирующих АЭС
Fuketa, T.

Международная группа по ядерной безопасности

Jamet, P.
Международная группа по ядерной безопасности

[†] Скончался.

Kim, M.
Международная группа по ядерной безопасности

Laaksonen, J.
Международная группа по ядерной безопасности

Le, C.D.
Международная группа по ядерной безопасности

Liang, Q.
Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций

Magwood, W. (с сентября 2014 года)
Агентство по ядерной энергии ОЭСР

Mohammad Jais, A.
Международная группа по ядерной безопасности

Niu, S.
Международная организация труда

Sharma, S.K.[†]
Международная группа по ядерной безопасности

Torgerson, D.
Международная группа по ядерной безопасности

Weightman, M.
Международная группа по ядерной безопасности

Weiss, W.
Научный комитет Организации Объединенных Наций по действию атомной радиации

Wiroth, P.
Международная группа по ядерной безопасности

Ziqiang, P.
Международная комиссия по радиологической защите

СОВЕЩАНИЯ

Совещания рабочих групп (РГ)

18 марта 2013 года
Первоначальное совещание
сопредседателей РГ, Вена

21-22 марта 2013 года
1-е совещание всех РГ, Вена

12-14 июня 2013 года
2-е совещание всех РГ, Вена

12-13 сентября 2013 года
3-е совещание РГ 1 и 2, Вена

7-9 октября 2013 года
3-е совещание РГ 3, 4 и 5, Вена

9-13 декабря 2013 года
4-е совещание всех РГ, Вена

10-14 февраля 2014 года
5-е совещание всех РГ, Вена

14-17 апреля 2014 года
6-е совещание РГ 1, 2 и 3, Вена

5-9 мая 2014 года
6-е совещание РГ 4, Вена

26-30 мая 2014 года
6-е совещание РГ 5, Вена

Совещания Международной технической консультативной группы (МТКГ)

21-22 марта 2013 года
1-е совещание МТКГ, Вена

10 июня 2013 года
1-е совместное совещание
МТКГ/сопредседателей, Вена

11 июня 2013 года

2-е совещание МТКГ, Вена

6 декабря 2013 года
2-е совместное совещание
МТКГ/сопредседателей, Вена

7 мая 2014 года
3-е совместное совещание
МТКГ/сопредседателей, Вена

23-24 октября 2014 года
4-е совместное совещание
МТКГ/сопредседателей, Вена

23-24 февраля 2015 года
5-е совместное совещание
МТКГ/сопредседателей, Вена

Совещания консультантов (СК)

6-7 августа 2013 года
СК по параметрам источника
радиоактивного выброса, Вена

29-31 октября 2013 года
СК по человеческим и организационным
факторам и культуре безопасности, Вена

17-21 ноября 2013 года
СК по человеческим и организационным
факторам и культуре безопасности, Атланта

13-17 января 2014 года
СК по человеческим и организационным
факторам и культуре безопасности, Вена

17-21 марта 2014 года
СК по человеческим и организационным
факторам и культуре безопасности, Оттава

24-26 марта 2014 года
СК по радиоактивности в окружающей среде,
Монако

20-21 мая 2014 года
СК по излучению и логарифмически
нормальным распределениям дозы,
Вена

23-27 июня 2014 года
СК по излучению и логарифмически
нормальным распределениям дозы,
Вена

Двусторонние совещания в Японии

14-21 октября 2013 года
Двустороннее обсуждение вопросов
реабилитации в связи с докладом МАГАТЭ

25-27 ноября 2013 года
СК по обсуждению вопросов, касающихся
радиологических последствий, в связи с
подготовкой главы 4 ("Радиологические
последствия") и главы 5 ("Меры по
послеаварийному восстановлению")

25 ноября – 9 декабря 2013 года
Двустороннее обсуждение вопросов вывода
из эксплуатации в связи с докладом
МАГАТЭ

20-24 января 2014 года
СК по обсуждению вопросов, касающихся
регулирующей деятельности,
эксплуатационного опыта и
обращения с отходами, в связи с
подготовкой доклада МАГАТЭ

23 января 2014 года
Совещания с участием Агентства
реконструкции и Группы по оказанию
жизненно необходимой помощи
пострадавшим от катастрофы – кабинет
министров

24 января 2014 года
Совещания с участием Института
энергетической экономики Японии

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ АВТОРСКОМ ПРАВЕ

Все научные и технические публикации МАГАТЭ защищены в соответствии с положениями Всемирной конвенции об авторском праве в том виде, как она была принята в 1952 году (Берн) и пересмотрена в 1972 году (Париж). Впоследствии авторские права были распространены Всемирной организацией интеллектуальной собственности (Женева) также на интеллектуальную собственность в электронной и виртуальной форме. Для полного или частичного использования текстов, содержащихся в печатных или электронных публикациях МАГАТЭ, должно быть получено разрешение, которое обычно является предметом соглашений о роялти. Предложения о некоммерческом воспроизведении и переводе приветствуются и рассматриваются в каждом отдельном случае. Вопросы следует направлять в Издательскую секцию МАГАТЭ по адресу:

Группа сбыта и маркетинга
Издательская секция
Международное агентство по атомной энергии
Vienna International Centre
PO Box 100
1400 Vienna, Austria
факс: +43 1 2600 29302
тел.: +43 1 2600 22417
эл. почта: sales.publications@iaea.org
веб-сайт: <http://www.iaea.org/books>

МАГАТЭ, 2015
Отпечатано МАГАТЭ в Австрии
Август 2015 года
STI/PUB/1710

РЕДАКЦИОННОЕ ПРИМЕЧАНИЕ

Настоящий доклад Генерального директора подготовлен на основе детальной информации, приведенной в технических томах. Его содержание необязательно отражает мнения государств – членов МАГАТЭ или организаций, назначивших экспертов в состав рабочих групп по подготовке технических томов.

Для обеспечения точности информации, содержащейся в настоящем докладе, были приложены большие усилия. Однако ни МАГАТЭ, ни его государства-члены не несут ответственности за последствия, которые могут возникнуть в результате его использования; кроме того, в связи с данным докладом не дается никакого рода гарантий.

В настоящем докладе не затрагиваются вопросы ответственности – юридической или иного рода – за действия или бездействие со стороны какого-либо лица или учреждения.

Выдержки из доклада могут свободно использоваться при условии наличия ссылки на источник. Если в какой-либо ссылке на источник в настоящем докладе указывается, что информация (включая фотографии и графику) взята из источника или с сайта, постороннего по отношению к МАГАТЭ, разрешение на повторное использование этой информации должно испрашиваться у ее первоначального источника.

Использование тех или иных названий стран или территорий не означает какого-либо суждения со стороны МАГАТЭ относительно правового статуса таких стран или территорий либо определения их границ, равно как и правового статуса их органов и учреждений.

Упоминание названий конкретных компаний или продуктов (независимо от того, указаны ли они как зарегистрированные) не означает какого-либо намерения нарушить права собственности и не должно рассматриваться как одобрение или рекомендация со стороны МАГАТЭ.

МАГАТЭ не несет ответственности за точность и постоянство приведенных в настоящем докладе адресов веб-сайтов внешних или третьих сторон и не гарантирует того, что информационное наполнение таких веб-сайтов является или останется точным и актуальным.



IAEA

Международное агентство по атомной энергии

А/я 100, Венский международный центр
1400 Вена, Австрия

Отпечатано в Австрии

GC(59)/14