

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЯДЕРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
«МИФИ» (НИЯУ МИФИ)

На правах рукописи

ОРУМО БЬЕНМОТЕЙ КЕНОЛЛ

**СОЦИАЛЬНО ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И РАДИАЦИОННО ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ
АСПЕКТЫ СТРОИТЕЛЬСТВА АЭС В ФЕДЕРАТИВНОЙ РЕСПУБЛИКЕ
НИГЕРИЯ**

1.6.21 – Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени
кандидата географических наук

Научный руководитель
д. т. н., проф.
Елохин Александр Прокопьевич

Научный консультант
к. ф. м. н., доцент
Ксенафонтов Александр Иванович

Москва – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ (РУС).....	5
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ (АНГЛ).....	6
Введение.....	8
ГЛАВА 1. Социально-экономические и экологические аспекты возможного развития атомной энергетики в Федеративной Республике Нигерия.....	25
1.1. Анализ социально-экономических проблем в Федеративной Республике Нигерия.....	25
1.2. Социально-экологические и промышленные проблемы в регионах предполагаемого размещения АЭС в Федеративной Республике Нигерия.....	33
1.3. Экономика Нигерии и необходимость ее диверсификации с помощью использования атомной энергии.....	42
1.3.1. Обзор экономики Нигерии.....	44
1.3.2. Отрасли экономики Нигерии.....	46
1.3.3. Проблемы экономики и их возможные решения.....	52
1.3.4. Особенности развития ядерной энергетики Нигерии.....	57
1.4. Особенности эксплуатации объектов использования атомной энергии, включая и АЭС, в развитых странах.....	58
1.5. Обоснование необходимости разработки специализированных средств и методов, обеспечивающих радиационно-экологический контроль регионов при строительстве АЭС в Нигерии.....	60
1.6. Выводы по первой главе.....	61
ГЛАВА 2. Особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты и окружающую среду.....	64
2.1. Биологические эффекты воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду и организм человека.....	68
2.2. Хроническая доза (долгосрочная доза низкого уровня).....	75
2.3. Радиационный ущерб репродуктивным клеткам.....	77
2.4. Внутриутробное облучение и его влияние на нерожденного ребенка.....	78
2.5. Уменьшение степени воздействия ионизирующего излучения на детей....	82
2.6. Негативные последствия работы атомных электростанций.....	83

2.7. Методы и средства радиационно-экологического контроля на ядерных объектах.....	84
2.8. Выводы по второй главе.....	87
ГЛАВА 3. Радиационно-экологические аспекты строительства АЭС в Федеративной республике Нигерия.....	90
3.1. Современные технологии автоматизированных систем радиационно-экологического мониторинга окружающей среды на действующих атомных электростанциях.....	90
3.2. Цели функции и задачи систем автоматизированного мониторинга радиационной обстановки в районе расположения АЭС.....	94
3.3. Метеорологические наблюдения в регионе, предполагаемом для строительства атомной электростанции.....	98
3.4. Математическое обеспечение гибридных систем радиационно-экологического мониторинга, построенное на основе принципа размещения детекторов гамма-излучения вокруг АЭС и методы их оптимизации.....	112
3.5. Определение оптимального пути следования при эвакуации населения из загрязненного района в чистую зону.....	126
3.6. Радиационный мониторинг выбросов радиоактивной примеси в атмосферу.....	129
3.7. Радиационно-экологический контроль радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при образовании радиоактивного следа.....	131
3.8. Выводы по третьей главе.....	133
ГЛАВА 4. Правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в Федеративной Республике Нигерия.....	136
4.1. Государственные органы в области охраны окружающей среды.....	138
4.2. Экологическая стандартизация и правоприменение.....	141
4.3. Экологическая экспертиза и ОВОС.....	141
4.4. Экологический риск и зоны повышенного экологического риска.....	142
4.5. Экологический мониторинг, планирование и контроль.....	153
4.6. Экономический механизм охраны окружающей среды.....	159
4.6.1. Методы экономического регулирования.....	159

4.6.2. Лицензии, контракты и ограничения на управление окружающей средой.....	159
4.6.3. Экономические стимулы в области охраны окружающей среды.....	161
4.7. Выводы по четвертой главе.....	162
ГЛАВА 5. Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии.....	164
5.1. Роль международных соглашений в области экологии окружающей среды.....	169
5.2. Основные принципы международного сотрудничества в области охраны окружающей среды.....	173
5.3. Участие Нигерии в международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды.....	171
5.4. Экологическое образование в Нигерии.....	176
5.5. Результаты международного сотрудничества в Нигерии.....	178
5.6. Выводы по пятой главе.....	180
6. Заключение.....	183
Список литературы.....	188
Приложение pdf – копия (англ.).....	202
Приложение pdf – копия (рус.).....	203

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ (РУС)

АСКРО	Автоматизированная система контроля радиационной обстановки
АИДК	Автоматизированной системы индивидуального дозиметрического контроля
АБР	Африканский банк развития
АЭС	Атомные электростанции
Принцип АЛАРА*	ALARA означает «настолько низко, насколько это разумно достижимо»
БПЛА	Беспилотные летательные аппараты
ВМО	Всемирная Метеорологическая Организация
ВИЧ	Вирус иммунодефицита человека
ВВП	Валовой внутренний продукт
ВОЗ	Всемирная организация здравоохранения
ГЭС	Гидроэлектростанция
ГЭФ	Глобальный экологический фонд
ГСА	Глобальная служба атмосферы
ДНР	Департамент нефтяных ресурсов
ДНК	Дезоксирибонуклеиновая кислота
ЕГАСКРО	Единая государственная автоматизированная система контроля радиационной обстановки
ИИ	Ионизирующего излучения
ИКТ	Информационно-коммуникационные технологии
ИНИР	Институт нового индустриального развития
ИСБ	Интегрированные системы безопасности
ИДК	Индивидуальный дозиметрический контроль
МБР	Многосторонние банки развития
МФУ	Международные финансовые институты
МСП	Малые и средние предприятия
МАГАТЭ	Международное агентство по атомной энергии
МОТ	Международная организация труда
МКРЗ	Международная комиссия по радиологической защите
МФСР	Международный фонд сельскохозяйственного развития
НИРР-1	Нигерийский исследовательский реактор.
НКН	Национальная комиссия по народонаселению
НБС	Национальное бюро статистики

* **Принцип ALARA на АЭС** (англ. ALARA, сокр. **As Low As Reasonably Achievable**) — критерий, сформулированный в 1954 году Международной Комиссией по радиационной защите для минимизации вредного воздействия ионизирующей радиации. Принцип предусматривает поддержание на возможно низком и достижимом уровне как индивидуальных (ниже пределов, установленных действующими нормами), так и коллективных доз облучения, с учётом социальных и экономических факторов. Согласно принципу ALARA, операторы атомных станций обязаны предпринимать все разумные меры для снижения радиационного облучения своих сотрудников, учитывая следующие факторы: **1.** Уровень используемых технологий; **2.** Экономический эффект от внедрённых мер с учётом уровня технологий; **3.** Экономическую целесообразность мер с учётом их потенциальной пользы для общественного здоровья и безопасности; **4.** Другие социальные и социальноэкономические аспекты (если они существуют).

НПР	Национальные программы развития
НКДАР	Научный комитет по действию атомной радиации
НРБ	Нормы радиационной безопасности
НПДА	Национальная программа действий по адаптации
НЭП	Национальная экологическая политика
ОВОС	Оценка воздействия на окружающую среду
ООН	Организация Объединённых Наций
ОИАЭ	Объекты использования атомной энергии
ОПЕК	Организация стран-экспортеров нефти
ПРООН	Программа развития системы Организации Объединённых Наций
РГГМУ	Российский государственный гидрометеорологический университет
РКИК ООН	Рамочная конвенция об изменении климата
РМС	Региональные станции мониторинга
РМП	Региональными постами мониторинга
СРК	Система радиационного контроля
СИЗ	Средства индивидуальной защиты
СПИД	Синдром приобретённого иммунного дефицита
СССР	Союз Советских Социалистических Республик
ФАО	Продовольственная и сельскохозяйственная организация
ФМБА	Федеральное медико-биологическое агентство
ФРН	Федеративная Республика Нигерия
ЦМЛ	Центральная метрологическая лаборатория
ЦНС	Центральная нервная система
ЦРТ	Центр речевых технологий
ЭР	Экологические риски
ЮНЕП	Программа ООН по окружающей среде
ЮНИСЕФ	Международный чрезвычайный детский фонд ООН

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ (АНГЛ)

ARMS	Автоматическая система радиационного контроля.
AKIA	Международный аэропорт Аква Ибом
DPR	Департамент нефтяных ресурсов
EGASPIN	Экологические нормы и стандарты для нефтяной промышленности Нигерии
ERGP	План экономического восстановления и роста
FEPA	Федеральное агентство по охране окружающей среды
FGN	Федеральное правительство Нигерии
FMARD	Федеральное министерство сельского хозяйства и развития села
ICRP	Международная комиссия по радиологической защите
GDP	Валовой внутренний продукт
GIKOS (GenCos)	Генерирующие компании

IERMN	Международная сеть мониторинга радиации окружающей среды в Корее
ILO	Международная организация труда
IRPA	Международная ассоциация радиационной защиты
KINS	Корейский институт ядерной безопасности
LASEPA	Агентство по охране окружающей среды штата Лагос
LGA	Территория местного самоуправления
NAEC	Комиссия по атомной энергии Нигерии (КАЕС)
NBS	Национальное бюро статистики
NCDP	Национальный центр по готовности к стихийным бедствиям
NCER	Нигерийский совет по образовательным исследованиям
NCF	Нигерийский фонд охраны природы
NDPVF	Народные добровольческие силы дельты Нигера
NEPA	Национальное управление по электроэнергетике
NEPIC	Комитет по реализации программы ядерной энергетики
NESREA	Национальное агентство по обеспечению соблюдения экологических стандартов и правил
NIPP	Национальный интегрированный энергетический проект
NIRR-1	Нигерийский исследовательский реактор.
NNPC	Нигерийская национальная нефтяная компания
NNRA	Нигерийский орган ядерного регулирования
NOSDRA	Национальное агентство по обнаружению и реагированию на разливы нефти
NPC	Национальная комиссия по народонаселению
NYNG	Молодое поколение Нигерии в ядерной энергетике
OPEC	Организация стран-экспортеров нефти
PIB - PIA	Законопроект или закон о нефтяной промышленности
RMS	Региональные станции мониторинга
RMP	Региональными постами мониторинга
SMEs	Малые и средние предприятия
UBSP	Программа городских базовых услуг
USNRC	Комиссия по ядерному регулированию США
UAVs	Беспилотные летательные аппараты
UNEP	Программа ООН по окружающей среде
UNDP	Программа развития системы Организации Объединенных Наций
WHO	Всемирная организация здравоохранения

Введение

Стремительный рост населения в мире требует увеличения роста продуктов потребления производимых в сельскохозяйственном, промышленном и частном секторах. Это требование непосредственно влияет на общее экономическое развитие любых стран, что приводит к увеличению спроса на электроэнергию. Эти проблемы оказываются наиболее актуальными в развивающихся странах, к которым относится и Федеративная Республика Нигерии (ФРН), о которой пойдет речь ниже.

Федеративная Республика Нигерия, получившая независимость в 1960, освободившись от колониальной опеки Великобритании, расположена на западном побережье Западной Африки и имеет площадь 923,768 км². Страна является тридцать восьмой по величине страной Африки, граничит с Камеруном на востоке, Нигером на севере, Чадом на северо-востоке и Бенином на западе. Столица - Абуджа.

Нигерия, представляя собой федерацию, состоит из 36 штатов и Федеральной столичной территории Абуджа. Исполнительную власть осуществляет президент Нигерии, который является одновременно главой государства и верховным военным главнокомандующим. Численность населения страны (по последним данным ООН, на 01.07.2024) составляла **232 679 000 человек**. Официальным языком страны является английский, хотя население говорит и на местных языках.

Одним из методов решения задачи удовлетворения спроса на электроэнергию в рассматриваемой стране является строительство атомной электростанции в Нигерии, которое, к сожалению, нельзя ограничивать только лишь решением строительных проблем. Согласно известным нормативным документам, например, «Санитарным правилам проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)» исследования, которые должны быть проведены в регионах предполагаемого строительства АЭС, основаны на известных требованиях, которые рекомендует МАГАТЭ, а именно, метеорологических, гидрологических, геологических, сейсмологических, социологических, демографических, экологических, почвенных. Значительный интерес представляет дорожная инфраструктура: есть ли

дороги грунтовые, асфальтированные, железнодорожные пути и т. д. Есть ли населенные пункты, городского типа, сельскохозяйственные, нужно ли расчищать площадку от леса или переселять сельских жителей в другое место? Все эти работы касаются необходимых условий строительства АЭС в любом регионе на Земле, а достаточным условием служит отношение местного населения, проживающего в регионе, к строительству АЭС. И поскольку такое строительство осуществляется в Нигерии впервые, постольку мнение местного населения на фоне местных межконфессиональных конфликтов, возникающих в стране время от времени, будет играть важную роль.

С одной стороны, строительство АЭС в Нигерии потребует и развития сопутствующих отраслей науки и производства, поскольку в богатой полезными ископаемыми стране приобретать необходимые, но второстепенные товары, окажется не только не выгодно, но и нецелесообразно, так как подобное решение проблемы будет наносить ущерб местной промышленности и экономике в целом. С другой стороны, развитие местной промышленности потребует определенных площадей, которые могут быть получены за счет сокращения лесов или сельскохозяйственного производства. Но стремительный рост населения в стране, напротив, требует роста сельскохозяйственного производства, поскольку для развития более продуктивных технологий сельскохозяйственной продукции требуются квалифицированные кадры и время, что в настоящее время для Нигерии является дефицитом. Отсюда следует, что решение указанных проблем сводится к сокращению лесных массивов, что в условиях глобального климатического изменения может привести к крайне нежелательным экологическим последствиям.

Это экономический вид проблем, которые могут возникнуть при строительстве АЭС в регионе ее строительства. К другой совокупности можно отнести проблемы, непосредственно связанные с вопросами эксплуатации АЭС, т.е. вопросами радиационной и радиационно-экологической безопасности и проблемы, обусловленные минимизацией последствий радиационных аварий, которые, как показывает практика, обязательно следует принимать во внимание.

К проблемам, имеющим непосредственное отношение к эксплуатации АЭС, относятся проблемы, связанные с воздействием ионизирующего излучения (ИИ) на биологические объекты и человека. Это касается как персонала, работающего на АЭС, так и населения, проживающее вокруг АЭС в зоне наблюдения. Типичным примером возникновения такого рода проблем может служить ситуация с населением, проживающим вблизи АЭС рядом с городком Кота в штате Раджастан западной Индии. В этой области работали два блока, один из которых был запущен в 1973 году, второй в 1981 г. Исследования врачей, которые осуществляли наблюдения жителей деревень, расположенных вблизи станции в 1991 г., показали, что значительное число исследуемого населения поражено врожденными физическими дефектами и твердыми опухолями, которые отсутствовали у жителей дальних деревень. В конечном итоге выяснилось, что виной всему были очистные установки, недостаточно очищающие газоарозольные радиоактивные выбросы, поступающие в атмосферу с АЭС, что и приводило к радиоактивному загрязнению окружающей среды. Для решения такого рода проблем в России разработаны и приняты ряд Федеральных законов, например, Федеральный закон от 9 января 1996 г. N 3-ФЗ "О радиационной безопасности населения"; Закон РФ от 15.05.1991 N 1244-1 (ред. от 27.12.2018) «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС» и ряд нормативных документов: Санитарные правила и нормативы СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)"; СП 2.6.1.2612-10 "Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010)".

Для решения задач, обусловленных радиационно-экологическими проблемами, в рамках штатной работы АЭС, рассматриваются автоматизированные системы радиационного мониторинга, обеспечивающие радиационный контроль работы АЭС во внешней среде. При работе этих систем осуществляется анализ радиоактивных выбросов из вентиляционных систем АЭС по спектральному составу γ -излучения и радионуклидному составу выбросов. Подобные системы могут работать в режиме on-line с дискретностью 30-60 мин при штатной работе и 1-1,5 мин при аварийных ситуациях. Системы обеспечиваются стационарным

метеорологическим оборудованием, измеряющим скорость и температуру ветра на нескольких уровнях от земли, осадки, температуру поверхности земли, стационарными химическими лабораториями, автомобильным транспортом дозиметрической разведки, беспилотным дозиметрическим комплексом, позволяющим проводить измерения радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности без непосредственного контакта человека с радиоактивным загрязнением, и технологическим оборудованием вентиляционной трубы, необходимым для анализ радиоактивных выбросов. Программное обеспечение, определяющее характер радиоактивного загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности, дает возможность детального прогноза радиоактивного загрязнения окружающей среды в условиях радиационных аварий при различных состояниях устойчивости атмосферы, которое определяют на основании метеорологических измерений указанной аппаратурой.

Решение проблем, связанных с непосредственной защитой населения в условиях радиационных аварий, обусловленных минимизацией их последствий, которые, как показывает практика, обязательно следует принимать во внимание, в общем случае определяется эвакуацией населения из загрязненного района и сводится к выбору оптимального пути следования из загрязненного района в чистую зону. Следует отметить, что в ряде стран, например, в Индии широкой публике недоступна даже информация о планах по эвакуации в случае чрезвычайных ситуаций. Она предоставляется только местным чиновникам. С математической точки зрения это типичная транспортная задача, основным критерием которой является минимум дозы, которое эвакуируемое население может получить по пути эвакуации.

Вопросы правового и экономического механизмов охраны окружающей среды в Федеративной Республике Нигерия затрагивают проблемы, возникающие при нефтедобыче, ее транспортировке, в работе лесной промышленности, коммунальных служб и т.д. В основе правового механизма охраны окружающей среды лежат известные методы поощрения и наказания. Эти же методы определяют и экономический механизм охраны окружающей среды. Действительно, в

результате местных аварий на производствах, связанных с нефтедобычей, переработкой нефти или ее транспортировкой, возникает значительное загрязнение окружающей среды, требующее значительных финансовых и материальных средств (транспорта, специальной техники и т.д.) для утилизации результатов такого рода аварий. Поэтому в качестве средств наказания здесь могут быть использованы меры, выражающиеся в повышении налогов на продукцию подобных нерадивых предприятий, лишение лицензий, прекращение контрактов, в противном случае (в качестве средств поощрения), в качестве бонуса, целесообразно снижать налоговую нагрузку и продавать лицензии по заниженным ценам. Что же касается аварийных ситуаций на предприятиях, работающих в области атомной энергии, то к уже упомянутым методам и средствам радиационного контроля добавляются международные службы в виде представителей МАГАТЭ и армейские подразделения химической разведки. Такие меры, с одной стороны, позволят оценить международный ущерб подобного рода аварий, а с другой, ограничить распространение радиоактивного загрязнения за область зоны, определяемой руководством, а также исключить вывоз загрязненных материалов и оборудования коррумпированными группировками, что и случилось на Украине.

Вопросы международного сотрудничества по экологическим вопросам в Нигерии возникают по причине того, что по Нигерии протекает две большие реки (Нигер и Бенуэ), которые берут начало в государствах Того, Бенин, Нигер (река Нигер и его притоки) и Камерун (река Бенуэ). Поэтому вопросы строительства ГЭС на этих реках и даже вопросы рыболовства населения того или иного государства, требуют тщательного согласования и определенных уступок, требующихся от Нигерии в широкой области экономики в том числе и в связи со строительством АЭС в области Герегу – области слияния рек Нигер и Бенуэ и области Иту в дельте Нигера.

Таким образом краткий анализ экономики Нигерии, представленный во введении указывает на значительное количество проблем, которые стоят перед правительством Нигерии, требуя их решения в ближайшее время. Самостоятельное решение этих проблем, по-видимому, возможно только при условии наличия

образованного населения. Что касается численности населения страны, то с этим дело обстоит достаточно благополучно, что же касается образованной части местного населения, то именно этот вопрос и требует для решения пристального внимания и, в первую очередь, финансового обеспечения для создания местных квалифицированных кадров. Именно, решение задач, связанных с вопросами общего образования населения в том числе и касающихся экологии, позволит успешно решать накопившиеся проблемы в Нигерии.

Работа состоит из списка сокращений (рус, англ.), введения, пяти глав текста, заключения, рекомендаций и приложения (о внедрении результатов работы).

В первой главе диссертации излагаются экономические и социальные обстоятельства и условия возможного развития ядерной энергетики в Федеративной Республике Нигерия. Рассматриваются социальные аспекты развития промышленности и энергетики в Федеративной Республике Нигерии. В представленном исследовании проводится анализ экономики Нигерии и различных ее секторов, проблемы экономики, предлагаются возможные решения этих проблем, в частности путем диверсификации энергетической отрасли за счет развития атомной энергетики. Кратко рассматриваются особенности работы АЭС, в развитых странах. В главе показана актуальность проблемы в целом и на основе анализа рассмотренных задач сформулирована постановка задачи исследования.

Во второй главе диссертации рассматриваются: биологические аспекты воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду и организм человека. Внешнее воздействие, внутреннее (пероральное) воздействие на человека, ингаляционное воздействие и генетические аспекты воздействия на человека. Рассмотрены методы и средства радиационно-экологического мониторинга окружающей среды в районе расположения объектов использования атомной энергии, в том числе атомных электростанций, в странах с развитой атомной промышленностью.

В третьей главе диссертации рассматриваются радиационно-экологические аспекты строительства АЭС в Федеративной республике Нигерия, которые представлены: 1. Современными технологиями автоматизированных систем

радиационного и экологического мониторинга окружающей среды на действующих атомных электростанциях, определяющие их цель, функции и задачи, в районе расположения АЭС; 2. Системой метеорологических наблюдений в предполагаемых регионах строительства АЭС, результаты которых не дают возможности усомниться в обоснованности выбора площадки, с учетом розы ветров и обосновании размеров санитарно-защитной зоны; 3. Математическим и программным обеспечением гибридных систем экологического мониторинга, построенном на основе принципа оптимизации детекторов гамма-излучения, размещаемых вокруг АЭС; 4. Радиационным мониторингом выбросов радиоактивной примеси в атмосферу; 5. Радиационным контролем радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при образовании радиоактивного следа.

В четвертой главе диссертации внимание было уделено правовому и экономическому механизмам охраны окружающей среды в Федеративной Республике Нигерия, ее экологическому законодательству, экологической стандартизации и соблюдению норм экологического права, а также экологическим рискам (ЭР) в Нигерии (ЭР-вероятностная мера риска нанесения ущерба окружающей среде в виде возможных потерь, остро проявляющихся с течением времени). Кроме того, в этой главе уделяется внимание экологическому мониторингу и контролю, экологическому образованию, и планированию с учетом адаптации соответствующих нормативных документов, разработанных в России, к правовому порядку и законам Федеративной Республики Нигерия.

В пятой главе диссертации содержатся рекомендации по международным экологическим договорам, которые необходимо принять в сложившихся условиях жизни в Нигерии. Рассматривается роль международного экологического сотрудничества. Основные принципы этого сотрудничества. Участие Нигерии в международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды, а также преимущества этой формы сотрудничества в Нигерии, обеспечивающий международный авторитет страны в странах Африки.

Цель и задачи. Цель настоящей диссертации состоит в разработке методологического подхода, определяющего методы и средства, способствующие

созданию научной и материально-технической базы для строительства АЭС в развивающихся странах Африки, на примере Нигерии — наиболее развитой стране западной Африки. Для чего проводятся социально-экономические и социально-экологические исследования условий труда населения в Нигерии, которые определяют необходимость строительства атомной электростанции в стране, адаптируя фундаментальные принципы, методы и средства, такие как системы автоматизированного радиационного мониторинга окружающей среды (ARMS) и нормативные документы, используемые в России (и других развитых странах) в области использования атомной энергии для создания АЭС в Нигерии. Это позволит профильным организациям Нигерии внедрить или адаптировать к местным условиям, учитывая национальные интересы, современные методы радиационно-экологического контроля или мониторинга в виде системы контроля окружающей среды в регионе, расположения АЭС, как при ее пуске, так и при ее дальнейшей эксплуатации.

Внедрение АСКРО (ARMS) позволит также решить задачу радиационного мониторинга окружающей среды в безаварийных условиях и радиационного контроля в условиях радиационных аварий на АЭС, минимизации последствий радиационных аварий на персонал и население в случае их возникновения, а также обеспечить квалифицированную консультацию населения относительно методов и средств радиационной защиты, уменьшающих эффект воздействия ионизирующего излучения на указанный контингент.

При рассмотрении экологических проблем важно сосредоточить внимание на правовых и экономических основах охраны окружающей среды, экологическом законодательстве Нигерии, экологическом мониторинге, контроле и экологическом образовании, а также на приведении правовых и экономических ограничений охраны окружающей среды в соответствие с правовыми и экономическими законами Нигерии. Кроме того, необходимо рассмотреть вопросы международного права, имеющие отношение к согласованию международных договоров по охране окружающей среды с условиями жизни в Нигерии. Продемонстрировать важность международных экологических отношений и фундаментальных принципов

международного сотрудничества в области окружающей среды. Способствовать участию и продвижению Нигерии в международном сотрудничестве в области окружающей среды, например, в решении проблем демографического взрыва, образования в области биоразнообразия, загрязнения водной и воздушной сред.

Актуальность работы

Обусловлена острой необходимостью разработки литературы, в которой бы освещались технические, технологические, экологические и социальные вопросы, связанные со строительством в Нигерии объектов атомной энергии, в частности атомных электростанций. Для Нигерии — самой густонаселенной страны Африки, создание подобных объектов осуществляется впервые и вызвано резкими противоречиями между ростом населения и нехваткой в стране электроэнергии, недостаток которой тормозит развитие экономики и страны в целом. Использование традиционных средств получения электроэнергии, связанных с использованием гидроэлектростанций, энергетических предприятий, работающих на угле, нефти или газе, не удовлетворяет Нигерию с точки зрения возникающих проблем в экологии окружающей среды, которая настоятельно требует сохранения зеленого пояса экваториальной Африки, играющего роль легких Земли, т.е. представляющего собой всемирное значение для населения Планеты. Это и является основой, согласно которой правительство Нигерии для решения энергетических проблем обратило внимание на развитие в стране атомной энергии, что, в свою очередь, и потребовало решение технологических проблем, связанных с ее использованием.

На современном этапе развития Федеративной Республики Нигерия в части строительства АЭС важнейшей задачей для страны является разработка основных принципов, методов и инструментов, а также нормативных документов, применяемых на объектах атомной энергетики, как при их строительстве, так и при эксплуатации. Данные разработки должны быть использованы для обеспечения радиационной безопасности персонала атомных электростанций и населения местных населенных пунктов, предотвращения радиационных аварий, которые могут привести к радиоактивному загрязнению окружающей среды, а также для

достижения необходимого уровня аварийного реагирования, соответствующего требованиям нормативной документации по радиационной безопасности. В связи с этим в Нигерии в качестве средства прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население необходимо внедрение системы радиационного мониторинга и экологического контроля, которая позволит минимизировать последствия радиационных аварий в случае их возникновения, а также оценивать и прогнозировать радиационную обстановку в районе АЭС в режиме реального времени как в условиях нормальной эксплуатации, так и в аварийных ситуациях. Внедрение подобных систем решает важную народнохозяйственную задачу минимизации последствий радиационных аварий на АЭС или на других ядерных объектах в случае их возникновения.

Кроме того, из-за социальной напряженности, которая время от времени возникает в Нигерии в результате либо преступной деятельности (например, похищения людей с целью выкупа или пиратства), либо религиозных или этнических конфликтов, сопровождающихся военными операциями, необходимо принимать дополнительные меры безопасности для обеспечения физической безопасности, безопасности специалистов, участвующих в строительстве атомных объектов, а также самих объектов. Это делается для того, чтобы исключить возможность того, что эти объекты будут использованы в качестве средства шантажа для достижения преступных или политических целей, выгодных определенным кругам.

Научная новизна

Впервые в рамках подготовки проекта строительства атомной электростанции в Федеративной Республике Нигерии: проведен экологический и социально-экономический анализ, дано обоснование целесообразности строительства атомной электростанции в двух различных регионах Нигерии (Иту штата Аква-Ибом и в Герегу штата Коги), существенно отличающихся метеорологическими условиями, и предоставлен аналитический обзор воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты, результаты которого могут быть использованы для просвещения населения в рамках борьбы с радиофобией, возникающей у населения, проживающего в регионе расположения АЭС, и впервые сталкивающегося с таким

понятием, как ионизирующее излучение. В регионах Нигерии, в которых планируется построить АЭС, проведены метеорологические наблюдения, в рамках которых проводились измерения метеопараметров атмосферы, используемых для определения состояния ее устойчивости; впервые при эксплуатации исследовательского реактора НИРР-1 применены математические модели, осуществляющие численное моделирование гипотетической радиационной аварии, сопровождающейся радиоактивным загрязнением окружающей среды, и методики оценки оптимизации маршрута при эвакуации населения из загрязненного района для условий регионов, в которых будут размещаться АЭС. Представлены рекомендации по внедрению принципа размещения системы γ -детекторов АСКРО, устанавливаемых вокруг ОИАЭ, на основе особенностей метеорологических характеристик региона.

Практическая значимость работы

Результаты предоставленного аналитического обзора воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты могут быть использованы для просвещения населения в рамках борьбы с радиофобией, возникающей у населения, проживающего в регионе расположения АЭС, и впервые сталкивающегося с таким понятием, как ионизирующее излучение.

В рамках подготовки к созданию ядерной инфраструктуры в Федеративной Республике Нигерия для оценки радиационно-экологической ситуации, вызванной функционированием атомной электростанции в отдельных регионах, и вероятности радиоактивного загрязнения окружающей среды, может осуществляться численное моделирование гипотетического радиоактивного загрязнения окружающей среды на основе эксплуатации исследовательского реактора НИРР-1. Для решения задачи минимизации степени экологической опасности определяется направление возможного распространения радиоактивного выброса в атмосфере, а использование моделей приземного слоя атмосферы и уравнения турбулентной диффузии, описывающего распространения радиоактивной примеси в атмосфере, позволяет определить уровни радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности и, таким образом решить задачу оптимизации маршрута при

эвакуации населения из загрязненного района. С этой целью проводят адаптацию метода оценки оптимизации маршрута при эвакуации населения из загрязненного района.

Для анализа радиационной обстановки окружающей среды в регионе расположения АЭС в Нигерии необходимо создание автоматизированной системы контроля. Это позволит осуществлять постоянный мониторинг контролируемого региона и информировать широкую общественность о радиационном состоянии атомной электростанции и регионе, прилегающем к ней. Для чего в внедрение, рамках проекта, результатов настоящей работы даст возможность создать не только автоматизированные системы радиационного мониторинга окружающей среды на основе рекомендуемых принципов их размещения, но и позволит осуществлять радиационный контроль при радиационных авариях на АЭС, а также минимизировать их последствия. Эта новая технология позволит в Нигерии создать в будущем общенациональную систему автоматизированного радиационного контроля типа ЕГАСКРО.

Достоверность представленных данных

Исследования, которые рассматриваются в монографии, основаны на ранее указанных требованиях и рекомендациях МАГАТЭ, касающихся необходимых условий строительства АЭС в любом регионе на Земле, но достаточным условием, как отмечалось выше, служит отношение местного населения, проживающего в регионе, к строительству АЭС. И поскольку такое строительство осуществляется в Нигерии впервые, постольку мнение местного населения будет играть важную роль. Следует отметить, что выводы представленной работы частично согласуются с ранее опубликованными работами, в которых рассматривались социально-экономические особенности в Нигерии, в частности с работой «Nigeria electricity crisis: Power generation capacity expansion and environmental ramification» (Abubakar Sadiq Aliyu et.al., 2013 г., Нигерия).

Из указанных исследований на выбранных площадках к настоящему времени проведены: метеорологический анализ, гидрологический анализ, сейсмологический анализ, анализ почвы, демографический анализ. Что же касается анализа оценки воздействия ИИ на окружающую среду (ОВОС), то можно

констатировать, что работа в этом направлении осуществляется и в настоящее время и, очевидно, что с завершением строительства АЭС эти работы будут продолжены, поскольку с пуском АЭС в Нигерии значительно возрастет как актуальность подобного рода работ, так и техническая база для их проведения.

К сожалению социологическому анализу не было уделено должного внимания, но были даны рекомендации по улучшению существующей инфраструктуры в регионах, включая, дорожную сеть, которая в настоящее время находится в неудовлетворительном состоянии, но работы по ее улучшению продолжаются. То же можно сказать и о железнодорожной сети, которая также нуждается в улучшении. Проводятся дноуглубительные работы на реке. Ведется работа по улучшению здравоохранения и расширению электросети.

Результаты исследований, представленные в работе, основаны на известных физико-математических моделях, например, модели приземного слоя атмосферы, использующей для оценки переноса радиоактивной примеси в воздушной среде уравнение турбулентной диффузии, которые были апробированы авторами в аналогичных исследованиях, связанных со строительством атомных электростанций в России, Иордании и Иране. Это касается как исследований, связанных с метеорологическими наблюдениями на выбранных для строительства АЭС площадках, так и создания системы АСКРО, а также оценки необходимого и достаточного количества γ -детекторов системы и принципа их размещения в пределах санитарно-защитной зоны, что позволяет обеспечить прогностические данные о дозовых нагрузках на персонал и население в условиях радиационных аварий во внешней среде при отсутствии данных о радионуклидном составе радиоактивных выбросов во внешнюю среду. Эти исследования основаны на российской модели, определяющей объемы и периодичность радиационного контроля, которые определяются нормативными документами по радиационной безопасности атомных электростанций и согласовываются с территориальными органами санитарно-эпидемиологического надзора России.

Материалы диссертации могут представлять интерес для студентов, бакалавров и студентов старших курсов, магистрантов, аспирантов, обучающихся

по направлениям «Экология окружающей среды» или «Радиационная экология окружающей среды», «Атомные станции: проектирование, эксплуатация и инжиниринг», для преподавателей технических университетов, инженерно-технического персонала АЭС и других ОИАЭ, чья деятельность связана с обеспечением радиационно-экологической безопасностью ОИАЭ, а также для инженеров и сотрудников проектных и научно-исследовательских институтов, ведущих исследования в области развития и использования атомной энергии.

Основные положения, выносимые на защиту

1. Результаты социально-экономического и радиационно-экологического анализа, обосновывающего целесообразность строительства атомной электростанции в отдельных регионах Нигерии. Эти результаты должны приниматься во внимание при решении социальных задач: строительство жилья и строений социальной инфраструктуры — школ, детских садов, яслей; городской инфраструктуры, городского транспорта и т.д., для персонала АЭС, населения городского типа и близлежащих деревень, привлекаемого для обеспечения нормального функционирования предприятий указанной инфраструктуры, а также использованы для просвещения населения в рамках борьбы с радиофобией, возникающей у населения, проживающего в регионе расположения АЭС, и впервые сталкивающегося с таким понятием, как ионизирующее излучение.

2. Рекомендации по внедрению современных технологий автоматизированных систем радиационного и экологического мониторинга окружающей среды на действующих атомных электростанциях и других объектах, использующих атомную энергию. Рекомендации включают предложения относительно методов измерения метеопараметров атмосферы (скорость ветра, температуру, влажность) на нескольких уровнях размещения от уровня земли, включая температуру нулевого уровня земли, на основе методики градиентных наблюдений этих параметров; метод определения параметров приземного слоя атмосферы на основе использования геофизической модели приземного слоя атмосферы и определения характера радиоактивного загрязнения окружающей среды при использовании

модели турбулентной диффузии, применяемой для решения задач переноса примеси в атмосфере; метод определения необходимого и достаточного количества γ -детекторов системы АСКРО и метод их расстановки в рамках санитарно-защитной зоны.

3. Внедрение методики оценки оптимизации маршрута при эвакуации населения с загрязненной территории. Адаптация методов численного моделирования гипотетического радиоактивного загрязнения окружающей среды на основе работы исследовательского реактора NIRR-1 в Нигерии.

4. Рекомендации по внедрению в правовую систему Нигерии правовых и экономических механизмов, используемых для охраны окружающей среды в Российской Федерации.

Личный вклад автора Все результаты и положения диссертации были получены, проанализированы и подготовлены автором или при его непосредственном участии в работе руководителя. Автор принимал участие в аналитических исследованиях, подготовке научных статей и в постановке различных задач. Методы вычислений включали использование специализированного программного обеспечения, моделирование, обработку и анализ результатов расчетов.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из списка сокращений (рус, англ.), введения, 5 глав, заключения, общего списка литературы, авторского списка соискателя, и приложения. Список использованной литературы включает 134 наименования на русском и иностранных языках, отдельный список работ соискателя (15). Общий объем работы состоит из 197 страниц текста, из которых 53 иллюстрации, представленные в виде 42 рисунков и 11 таблиц и приложения на 2-х л.

Апробация работ. Основные результаты и положения диссертации представлены на следующих научных конференциях:

XV Международная молодежная научно-практическая конференция «Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2019 » 25-26 ноября 2019, Обнинск.

III Международная (XVI Региональная) научная конференция "Техногенные системы и экологические риски", 16-17 апреля 2020, Обнинск.

X Международная научно-исследовательская и практическая конференция "Вопросы физики и техники в науке, энергетике и медицине. Российский и международный опыт подготовки кадров", сентябрь 09-10, 2020, Томск.

Международная конференция «Управление процессами и научное развитие» 25 ноября 2020 г., Novotel Birmingham Center, Бирмингем, Великобритания.

XVII Международная молодежная научно-практическая конференция «Будущее атомной энергетики - AtomFuture 2021 » 22-23 ноября 2021, Обнинск.

Публикации. Результаты диссертации отражены в 15 работах, в числе которых в 7 статьях, из которых 5 статей опубликованы в журналах, рекомендованной ВАК РФ, 2 статьи опубликованы в журналах, индексируемых ВАК и Scopus и 8 - в журналах, индексируемых, библиографической базой данных РИНЦ RSCI.

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Экологические и социально-экономические аспекты возможного развития атомной энергетики в Федеративной Республике Нигерия. ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, 2019, №4 (33), стр. 96-109. <http://gns.mephi.ru/>.
2. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Экологические и социально-экономические исследования, определяющие возможность, в настоящее время, строительство АЭС в Федеративной Республике Нигерия. MODERN SCIENCE № 08. Vol. I, 2019, стр. 195-211. <http://en.modsc.ru/>.
3. Orumo B.K, Elokhin A.P., Ksenofontov A.I. Ecology and Social and Economic researches of the possible development of Nuclear Energy in the Federal Republic of Nigeria in real time. **International Journal** of Nuclear Governance, Economy and Ecology. Vol. 4, № 4. 2019, pp. 256-272. www.inderscience.com.
4. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты и методы его радиационного контроля на ядерных объектах. (Аналитический обзор). ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, 2020, № 2 (35), стр. 16-40. <http://gns.mephi.ru/>.
5. Furo Ebieri, Orumo Beinmotei Kenoll. Evaluation of the Security Risks Associated with the Construction and Operations of a Nuclear Power Plant in the Federal Republic of Nigeria. **Journal of Nuclear Engineering & Technology**. Vol. 10, № 1. JoNET 2020, pp. 15-23.

6. Elokhin A.P., Orumo B.K., Ksenofontov A.I. Benchmarking study of estimating costs on ARMS and elimination of radiation accident consequences at a nuclear facility. (Сравнительный анализ оценки материальных затрат на АСКРО и ликвидацию последствий радиационной аварии на ОИАЭ). *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*. Vol. 5, № 1, 2021, P. 1- 23.
7. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Влияние ионизирующего излучения на биологические объекты; инструментальные методы его радиационного контроля. Тезисы докладов XVI Международной научно-практической конференции «Безопасность ядерной энергетики». Волгодонск, 12 – 13 ноября 2020 г. С. 48 – 52.
8. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в федеральной республике Нигерия. *Евразийский Союз Ученых (ЕСУ)* № 6(75), часть 7, 2020, стр.13-27. **DOI:** 10.31618 / ESU.2413-9335.2020.7.75.875. <https://euroasia-science.ru/en/issues/>.
9. Orumo B.K., Elokhin A.P., Ksenofontov A. I. International cooperation on environmental issues in Nigeria (Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии). Доклад. International Conference «Process Management and Scientific Developments» Birmingham, United Kingdom, November 25, 2020, P.123-146.
10. Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Орумо Б.К. Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии. **Экологическое право**. 2021, № 2, стр. 28-33.
11. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Некоторые аспекты международного сотрудничества по экологическим вопросам в Нигерии. **ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**, 2021, №2 (39), стр.25-34.
12. Orumo B.K., Elokhin A.P., Ksenofontov A.I. Analysis, Adaptation and Implementation into the Legal Framework of Nigeria of Legal and Economic Mechanisms used in Protecting the Environment. **Journal of Global Ecology and Environment**. 2021. 13 (2): 35-48. ISSN: 2454-2644.
13. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Бурханов А.К. Экономика Нигерии и необходимость ее диверсификации с помощью использования Атомной Энергии. **ВЕСТНИК АЛТАЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЭКОНОМИКИ И ПРАВА**, 2022, №6 (1), стр.139-153.
14. Орумо Б.К., Ксенофонтов А.И., Елохин А.П. Метеорологические особенности регионов строительства АЭС в Нигерии. **ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**, (2024), №14 (3), стр. 43-56.
15. Orumo B.K., Ksenafontov A.I., Elokhin A.P. Meteorological Features of NPP Constraction Region in Nigeria. *Physics of Atomic Nuclei*, 2024, Vol.87, No 12, pp.1766-1776.

ГЛАВА 1. Социально-экономические и экологические аспекты возможного развития атомной энергетики в Федеративной Республике Нигерия

1.1. Анализ социально-экономических проблем в Федеративной Республике Нигерия

Стремительный рост населения в мире требует увеличения роста продуктов потребления производимых в сельскохозяйственном, промышленном и частном секторах. Это непосредственно влияет на общее экономическое развитие страны, что приводит к увеличению спроса на электроэнергию. Эти проблемы оказываются наиболее актуальными в развивающихся странах, к которым относится и Федеративная Республика Нигерии, о которой пойдет речь ниже. Нигерия, получив независимость в 1960, освободившись от колониальной зависимости Великобритании, была вынуждена рассмотреть возможность использования атомных электростанций для удовлетворения ожидаемого спроса на электроэнергию. Будучи развивающейся страной, вынуждена строить атомные электростанции, используя проверенные ядерные технологии, одобренные МАГАТЭ. Эти проекты должны соответствовать фундаментальным руководящим принципам, процедурам, инструментам и нормативным документам, рекомендованным МАГАТЭ для ядерных объектов, расположенных в различных климатических зонах.

Целью этого исследовательского проекта является разработка фундаментальных идей, методов и инструментов, а также создание нормативной документации для стимулирования развития современных технологий радиационно-экологического мониторинга окружающей среды как средства экологического контроля при строительстве атомных электростанций и других объектов использования атомной энергии в Нигерии. Работа включает углубленный анализ социально-экономических факторов, способствовавших развитию атомной энергетики в стране, рассматриваются современные технологии, используемые при эксплуатации атомных электростанций, для автоматизированных систем радиационного мониторинга окружающей среды,

международное сотрудничество в области охраны окружающей среды в Нигерии. Также рассматриваются правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в Нигерии.

Экспериментальную основу работы составляют исследования, проводимые специализированными экологическими и метеорологическими службами Нигерии, в задачу которых входит определение метеорологических параметров в конкретных регионах, а также применение методов численного моделирования потенциального радиоактивного загрязнения окружающей среды с использованием исследовательского реактора NIRR-1.

Быстрый рост населения в мире и, в частности, в развивающихся странах сегодня тесно связаны. Будучи развивающейся страной, Нигерия получила огромную выгоду от быстрого экономического роста. Однако страна столкнулась с серьезными проблемами с точки зрения стабильного и эффективного энергоснабжения, которое имеет важное значение для экономического роста. Решая эту проблему, можно решить важные политические, экономические и социальные проблемы. Экономика Нигерии является одной из крупнейших в Африке. Однако энергетический сектор страны не так эффективен, как энергетический сектор страны в целом. Это вредит развитию отдельных отраслей промышленности, сельского хозяйства и, наконец, уровню жизни народа (см. рис. 1.1).



Рис. 1.1 Работа при «свечах». Снова нет электроэнергии

Ниже приводится краткий обзор географического положения страны, природных ресурсов, экономического положения и социального положения народов Нигерии.

Федеративная Республика Нигерия расположена на западном побережье Западной Африки (см. рис. 1.2). До 1960 года страна являлась британской колонией, когда получила независимость. Нигерия имеет площадь 923,768 км² и является тридцать восьмой по величине страной Африки. Граничит с Камеруном на востоке, Нигером на севере, Чадом на северо-востоке и Бенином на западе. Столица - Абуджа.



Рис. 1. 2 – Расположение Нигерии в Западной Африке

Нигерия, представляя собой федерацию, состоит 36 штатов и Федеральной столичной территории Абуджа. Исполнительную власть осуществляет президент Нигерии, который является одновременно главой государства и верховным военным главнокомандующим. Национальное собрание (двухпалатное) - законодательная власть, представленная Верхней палатой (Сенатом) (109 мест) и Нижней палатой (Палатой представителей) (360 мест) по мажоритарной избирательной системе сроком на 4 года [1]. Президент может занимать пост максимум два срока после избрания на должность прямым всенародным

голосованием сроком на 4 года. Численность населения страны (по последним данным ООН, в 2021) составляет 219,5 млн человек, а в 2024 году – ожидается 227 956 036 человек. Официальным языком страны является английский, хотя население говорит и на местных языках. В стране 512 языков, некоторые из них используются до сих пор, а некоторые преподаются в школах. Большинство населения многоязычно [2], но в селениях общение осуществляется, в основном, на родоплеменном языке.

Религии в Нигерии: Религиозный состав населения Нигерии состоит из 45% мусульман, 45% христиан и 10% приверженцев традиционных религиозных взглядов. Ислам исповедуют на севере, западе и востоке страны люди хауса, фулани, канури и сонгай. На юго-западе это практикуют люди йоруба. Суннитский ислам исповедуется в Нигерии, в основном народом Малики. Законы шариата применяются в Нигерии в 12 штатах: 9 полностью и 3, которые применяются только в районах с большим мусульманским населением. Восточная и южная части Нигерии сильно христианизированы. Крупнейшими христианскими конфессиями в Нигерии являются Англиканская церковь (20 миллионов членов) и Католическая церковь (20 миллионов). Крупнейшая пятидесятническая церковь насчитывает 18,2 миллиона членов. Традиционные верования исповедуют 13 миллионов человек в своих общинах.

Экономика Нигерии: 1 января 1973 года фунт был упразднен и заменен найрой. Нигерия богата нефтью, подвержена политической нестабильности, коррупции, плохой инфраструктуре и, далеко не совершенному, экономическому управлению. Военные правительства Нигерии не смогли диверсифицировать свою экономику и избавиться от полной зависимости от нефтяного сектора, на долю которого приходится 80% валового внутреннего продукта (ВВП) страны и 95 процентов иностранной валюты (ПИИ). В последние годы правительство начало проводить реформы, включая приватизацию крупнейших нефтеперерабатывающих заводов Нигерии и отмену цен на нефтепродукты. Правительство также способствует развитию инфраструктуры частного сектора в Нигерии, уделяя особое внимание агропромышленному сектору.

Валовой внутренний продукт (ВВП) Нигерии составляет 375,8 миллиарда долларов, что на 2,4% выше, чем 2 412 000 долларов на душу населения в 2019 году. По данным Всемирного банка, в 2010 году 84,5% нигерийцев жили в бедности, зарабатывая всего 2 доллара в день из-за отсутствия электричества и воды. Около 75% населения северо-восточных регионов живут в бедности, что примерно в два раза превышает показатель на юге.

Сельское хозяйство: в сельском хозяйстве занято 70 % всей рабочей силы, за ним следует промышленность – 10 % и сфера услуг – 20 %. Выращиваемые культуры включают цитрусовые, помидоры, огурцы, перец песто и каучук. Также развиты персики, нектарины, сливы, рис, кукуруза, сорго, просо, маниока (тапиока), ямс, яблони и груши, рыболовство и животноводство.

Промышленность: Добыча нефти, добыча угля, добыча олова, добыча колумбита, добыча пальмового масла, добыча хлопка, добыча каучука, добыча древесины, производство текстиля, производство продуктов питания, производство обуви, химическое производство, производство удобрений, обработка шкур и производство алюминия. Большая часть страны состоит из осадочных пород, богатых железом. В стране имеются богатые ресурсы железной руды, но они недостаточно используются. Крупнейшие месторождения находятся на горе Патти (недалеко от Локоджи) и в штате Коги. Нефть и природный газ (дельта Нигера и шельф). Горнодобывающая промышленность, добыча олова и ниобиевой руды (плато Джос, недалеко от Энугу). Горнодобывающая промышленность и добыча известняка (производство цемента) в Нигерии с начала 1980-х годов.

Нефтяная промышленность: Первая нефть была обнаружена в Нигерии в 1901 году. Промышленная эксплуатация месторождений началась в 1956 году. Нигерия является членом Организации стран-экспортеров нефти (ОПЕК) с 1971 года. В 2007 году Нигерия заняла 8-е место в мировом экспорте нефти. около 572 000 баррелей нефтепродуктов в сутки. По разным оценкам, доказанные запасы нефти составляют от 25 до 36 миллиардов баррелей. Легкая нефть с низким содержанием серы составляет 65% от общего объема добываемой нефти. Форкадос - основной экспортный товар Нигерии, а Бонни Лайт - другой крупный экспортный товар

Нигерии. Нефть производится совместными предприятиями Национальной нефтяной компании Нигерии и транснациональных компаний, таких как Shell, ExxonMobil и т. д. На долю нефти приходится до 95 процентов экспортных поступлений Нигерии, 14 процентов ВВП и 80 процентов государственных доходов. Доходы от нефти достигли почти 22 миллиардов долларов в 2003 году, а доходы от нефти достигли 2,4 миллиардов евро в 2006 году. Нигерия занимает 6-е место в мире по добыче нефти. Текущая ежедневная добыча сырой нефти в Нигерии составляет 1 685 000 баррелей.

Нигерия является самой густонаселенной страной из всех стран Африки. Ситуация в стране критическая, поскольку темпы роста населения страны и уровень потребления энергии не поспевают за темпами развития. Это оказывает существенное негативное влияние на экономику страны и препятствует развитию ее городской, пригородной и сельской инфраструктуры. Согласно прогнозам глобального спроса на энергию, спрос на энергию в мире, по прогнозам, увеличится более чем на 34 процента в период с 2002 по 2025 год. Ожидается, что этот процент удвоится в развивающихся странах. Текущая мощность энергоблока страны составляет всего 4559,46 МВт, тогда как расчетная пиковая потребность в стране составляет 12800 МВт [3]. Причины этого следующие: неразвитость сельского хозяйства и промышленности; низкая заработная плата рабочих; отсутствие образования и здравоохранения; низкий уровень жизни со всеми вытекающими последствиями.

Электричество является наиболее широко используемой и относительно безопасной формой энергии в мире. Это важно для уровня жизни, развития нации, экономического роста и достижения ЦРТ в Нигерии [4]. Экономика и население Нигерии расширяются, что приводит к увеличению потребности страны в электроэнергии [5]. Если этот спрос не будет удовлетворен, может возникнуть дефицит предложения [6, 7]. Такой дефицит может иметь катастрофические последствия для устойчивости государства. Критичность страны заставила правительство рассмотреть возможность использования ядерной энергетики для заполнения дефицита и удовлетворения ожидаемого спроса на электроэнергию [5,

8, 9]. Нигерия стремится внедрить и расширить использование ядерной энергии, поскольку этот вид источников энергии дает ряд преимуществ перед другими источниками энергии, что делает его отличным вариантом для поддержки социально-экономического развития в любой стране [6, 10]. КПД АЭС достаточно высок и составляет ~ 32 — 35 %. АЭС производят 22% мировой энергии. Однако больше внимания безопасности следует уделять на стадии проектирования, строительства и эксплуатации [11, 12]. В случае с атомными электростанциями малейшее отклонение от строгих норм безопасности может привести к катастрофическим последствиям для всего человечества [13]. Чернобыль в 1986 году и Фукусима 1 в марте 2011 года были двумя примерами этого. Первое произошло в результате сбоя работы атомной электростанции, а второе – в результате воздействия цунами, которое возникло в результате землетрясения. Ископаемые виды топлива, такие как уголь, нефть и газ, сильно загрязняют климат и вносят значительный вклад в парниковый эффект. Ядерная энергетика является единственным источником энергии, который может удовлетворить значительную часть этих потребностей. Он конкурентоспособен, безопасен, надежен и чист [10]. Единственный путь вперед – это разумное сочетание энергосбережения, возобновляемых источников энергии для небольших масштабов, интенсивного локального использования и ядерной энергии для производства базовой нагрузки. Например, он удовлетворяет большую часть мирового спроса на энергию в промышленно развитых и развивающихся странах, таких как США, Франция и Китай, а также в странах с развивающейся экономикой, таких как Япония, Южная Корея, Россия и другие страны. Однако безопасность атомных электростанций осложняется утилизацией и переработкой ядерного топлива, что могут себе позволить лишь некоторые страны, не говоря уже о непосредственной опасности ядерной аварии.

По стандартам Международного агентства по атомной энергии (МАГАТЭ) Нигерия добилась значительного прогресса в достижении своей цели, создав необходимую инфраструктуру и вспомогательные учреждения для своей ядерно-энергетической программы. Нигерия в настоящее время находится на втором этапе

своей ядерно-энергетической программы и хорошо продвинулась в развитии своей атомной промышленности. Ожидается, что Ядерная дорожная карта NAEC (NEC) будет возглавлять ядерную программу страны. Непосредственным ответом на вызовы увеличения генерирующих мощностей и энергопотребления стала разработка и строительство атомных электростанций в рамках Национальной программы производства энергии [10, 14]. После того как Турция ввела в эксплуатацию свою первую атомную электростанцию (АЭС) [15], ожидалось, что первая АЭС будет подключена к ее национальной сети в 2022 году, однако с тех пор этот срок был перенесен на 2027/2030 год. Нигерия и «Росатом» (российская государственная атомная энергетическая компания) недавно подписали рамочное соглашение о строительстве новой АЭС. Это следует за пересмотром рамочного соглашения в 2012 году и пересмотренным соглашением в 2021 году, в котором изложены основные обязанности сторон по проекту. Имея соглашения о разработке проектов строительства и эксплуатации, Росатом сейчас работает с Нигерией над двумя предлагаемыми проектами: центром ядерных исследований и технологий и проектом атомной электростанции.

Хотя FGN признает, что проект атомной энергетики является сложной задачей, оно ясно дало понять, что намерено строить атомные электростанции для выработки электроэнергии [16]. На рис. 1.3 показаны территории, пригодные для размещения АЭС. Регион ITU расположен на территории местного самоуправления ITU, штат Аква-Ибом, на южном побережье Нигерии, в дельте реки Нигер. Регион ГЕРЕГУ (штат Коги) расположен недалеко от Абуджи, в районе местного самоуправления Аджаокута, в северо-центральной зоне штата Коги. Регион Герегу расположен на пересечении рек Нигер и Бенуэ.



Рис. 1.3. Регионы для возможного размещения площадок под АЭС в Нигерии. 1 — Область Герегу находится в зоне слияния рек Нигер и Бенуэ. 2 — область Иту

Главным приоритетом Нигерии на современном этапе является строительство атомной электростанции для обеспечения радиационной безопасности атомного персонала, электростанций и местного населения, предотвращения радиоактивного загрязнения окружающей среды и достижения необходимого уровня аварийного реагирования, обеспечивающего отвечает самым современным требованиям радиационной безопасности. Нигерия сосредоточена на разработке основных принципов, методологий и инструментов, а также на разработке правил эксплуатации и мирного использования ядерной энергии в Нигерии.

Для минимизации последствий радиационной аварии и расчетных дозовых нагрузок населения и персонала АЭС необходима разработка системы мониторинга и контроля окружающей среды, позволяющей прогнозировать радиоактивное загрязнение окружающей среды и оценивать дозовые нагрузки человека на атомной электростанции. С использованием этой технологии можно будет в режиме реального времени отслеживать и прогнозировать радиационную обстановку вокруг АЭС, а также любые чрезвычайные ситуации, которые могут возникнуть на запланированной территории Федеративной Республики Нигерия. Будет также

решена значимая народнохозяйственная задача по уменьшению последствий аварий на атомных электростанциях и других радиационных объектах.

1.2. Социально-экологические и промышленные проблемы в регионах предполагаемого размещения АЭС в Федеративной Республике Нигерия

Общеизвестен тот факт, что до того, как была построена любая атомная электростанция, были проведены многочисленные исследования, включая геологические, сейсмологические, гидрологические, метеорологические, экологические и экономические, и все это с учетом интересов местного населения. Чтобы ответить на вопрос об обосновании подложки – геологическом типе основания, на котором предполагается размещение фундамента будущей АЭС, необходимо провести геологическое обследование региона. Это позволит избежать возможной радиационной аварии в результате «дрейфа» грунта под атомной электростанцией во время землетрясения, что может быть установлено с помощью сейсмологических исследований.

Размер водоносных горизонтов и уровень грунтовых вод — это вопросы, которые решаются гидрологическими исследованиями. Эти вопросы будут важны в случае серьезной радиологической аварии, когда радиоактивные материалы загрязняют подстилающие поверхности и просачиваются в грунтовые воды, которыми пользуется население. Наиболее типичные скорости ветра, температуры, уровни влажности и направления ветра определяют сезонно-годовое состояние устойчивости атмосферы, которое изучается в конкретном регионе и имеет решающее значение при определении оптимального места размещения АЭС. По этой причине в случае радиационной аварийной ситуации необходимо знать результаты первоначального экологического исследования региона, которые определяют его «нулевой» фон представляющий собой естественный радиационный фон региона.

Среди упомянутых опросов заслуживают внимания социально-экономические опросы местного населения. Их социально-экономическое положение в конечном итоге определяется уровнем образования населения, состоянием экономики и характером его деятельности. Стоимость АЭС покрывает стоимость

системы в целом, на которую влияет количество оборудования радиационного контроля. Первые пять исследований описаны с использованием различных математических моделей, методов и полевых наблюдений. В социально-экономических исследованиях используются вербальные методы и результаты опросов общественного мнения. Ниже приводится краткое изложение социально-экономических и экологических исследований, которые используются для определения возможности строительства атомной электростанции в Нигерии в настоящее время.

Экология. Нигерия сталкивается с рядом экологических проблем, таких как деградация почвы, быстрое сокращение лесных площадей из-за роста населения, загрязнение воздуха и воды в городских районах (автомобили ответственны за 90% всего загрязнения воздуха), роста опустынивания областей и почв в районах из-за разливов нефти и высокого уровня урбанизации. Физическая и социальная среда в мегаполисах быстро ухудшается в результате ненадлежащего контроля над культурно-оздоровительной деятельностью, что способствует росту антисоциальной составляющей [17, 18]. При этом Нигерия сталкивается с серьезной проблемой антисанитарии. Санитарная инфраструктура Нигерии, включая септики и очистные сооружения, а также канализацию и бытовые туалеты, в значительной степени не соответствует потребностям растущего населения Нигерии и быстро приходит в упадок из-за быстрой урбанизации страны. Управление отходами в городах Нигерии, пожалуй, самая серьезная экологическая проблема, стоящая перед страной. Страна просто грязная. Даже в столице страны на улицах огромное количество мусора. Теплая погода также способствует росту ряда инфекционных заболеваний в стране (рис. 1.4) [17]. С другой стороны, наблюдаются и положительные сдвиги, когда дело касается экологии. В Нигерии существуют государственные экологические организации, а эффективность управления окружающей средой стала актуальной областью для принятия как Нигерией, так и рядом развивающихся стран разрабатываемых планов социально-экономического развития.



Рис. 1.4. Антисанитария, мусорные свалки - типичный пример ландшафта в населённых пунктах Нигерии [17]

Проблемы воды и здравоохранения. Перебои, часто возникающие из-за нестабильной работы электросетей, в свою очередь, приводят к перебоям в подаче воды и света. В результате местные жители вынуждены покупать автономные генераторы электроэнергии. Большинство домов в стране принадлежат бедным слоям населения, не имеющим доступа к проточной воде и электричеству. Национальная система здравоохранения крайне неадекватна. Конечно, здесь есть медицинские вузы, которые готовят врачей, но количество сотрудников совсем невелико. Население страны в целом не имеет доступа к частным клиникам, где они могут получить лишь посредственную медицинскую помощь. Кроме того, их уровень медицины уступает европейскому. Поэтому предпочтительно избегать заболеваний в Нигерии. Очевидно, что в стране относительно мало пожилых людей из-за сложных экономических условий и недостаточно развитой системы здравоохранения. Нигерия, где более 3% населения живет с ВИЧ, входит в число самых ВИЧ-положительных стран в мире. СПИД поражает многих молодых людей. Помимо кишечных инфекций, в этом районе также распространены брюшной тиф, эпидемический паротит, гепатит и малярия. Все эти заболевания вызваны низким уровнем образования населения и плохими условиями жизни. В Нигерии девяносто девять из тысячи новорожденных умирают при рождении; средняя

продолжительность жизни мужчин составляет 46 лет, а женщин - 48 лет. Ожидаемая продолжительность жизни нигерийцев составляет 3% [18].

Проблемы с работой – безработица является одной из крупнейших проблем страны. Это заставляет людей торговать. Большинство людей начали торговать в молодом возрасте. Женщины работают в торговле и на плантациях, где собирают фрукты, какао и арахис, некоторые работают официантами и портными для туристов, а если повезет, то будут работать на рыбоперерабатывающих заводах, в горнодобывающей промышленности или в нефтяной промышленности. Мужчины, которым повезло меньше, либо торгуют, берут взятки, воруют у богатых туристов, либо занимаются пиратством и грабежами, а похищения людей с целью выкупа являются обычным явлением. Последний случай касается шести российских моряков, похищенных нигерийскими пиратами с контейнеровоза MSC Mandy в начале января 2019 года в порту Бенина. Нигерия богата золотом и нефтью, но богатство ее народа не приводит к высоким зарплатам. Более 70 процентов населения страны живет в бедности. Средний класс составляет менее 3 процентов населения, а число богатых нигерийцев гораздо ниже.

Проблемы с образованием. В Нигерии существуют три формы образования: местное образование; религиозное (т.е. исламское) частное образование, которое преобладает в районах с большим мусульманским населением; и западное образование, находящееся под влиянием колониального правления и имеющее ярко выраженный европейский стиль [18]. На западном маршруте образования выделяются три ступени образования: 1. Бесплатное начальное (базовое) образование для детей 6-11 лет 2. Среднее образование для детей 11-14 лет 3. Среднее образование для детей 15-18 лет старый 4. Среднее и среднее образование финансируется. Дошкольное образование Дошкольное образование начинается в возрасте 3 лет и продолжается до 6 лет. Только 47% детей получают дошкольное образование. Только 85% детей посещают начальную школу. Некоторые дети бросают начальную школу (рис.1.5). Однако образование доступно не всем. Уровень грамотности в Нигерии составляет 50%. Женщины составляют 80% уровня

неграмотности в Нигерии. Эта проблема особенно распространена на севере страны [18].



Рис. 1.5. Начальная школа в Нигерии в сельском районе [17]

Социальные пороки: Преступность в Нигерии очень высока. По мере увеличения населения растет и число антисоциальных элементов, что, в свою очередь, увеличивает количество преступных группировок в Нигерии [10]. Поэтому социальные условия жизни в Нигерии сводятся к простой формуле: не выставляйся. Лучше скрыть свое благополучие от других. По этой причине женщинам даже в дневное время, как правило, не разрешается гулять по улицам в одиночку, поскольку их могут изнасиловать, отобрать деньги или подвергнуть физическому насилию. Этот факт является актуальным как для туристов, так и для местных жителей.

Вооруженные конфликты в Нигерии время от времени возникают из-за политических и религиозных конфликтов. Как упоминалось ранее, в некоторых районах Нигерии действуют Народные добровольческие силы дельты Нигера (NDPVF — боевая группировка в дельте Нигера) и террористическая группировка «Боко Харам» [10, 18]. В 2015 году их члены разрушили 16 городов и деревень на севере Нигерии. Гражданин Нигерии может стать бездомным и/или перемещенным лицом в любое время. Террористы особенно не любят женщин, потому что они рассматриваются как разменная монета в переговорах.

REUTERS сообщает, что число христиан, убитых в Нигерии в результате нападений мусульманских экстремистов, за последние три недели (март 2019 г.) выросло до 120. Об этом сообщает Christian Post [18, 19]. Недавно джихадисты Фулани напали на деревню Инкирими в Догонноме и деревню Унгван Гора в районе местного самоуправления Каджуру. Эти боевики стали большей угрозой для нигерийских христиан, чем исламская террористическая группировка «Боко Харам». В ходе последней атаки джихадисты Фулани разрушили 143 дома, убили 52 человека и ранили еще несколько человек. Подобные нападения показывают, что правительство должно уделять приоритетное внимание защите жизни людей. Мертвым ядерная энергия не нужна.

Теперь, когда у нас есть четкое представление о социально-экономических проблемах, с которыми сталкивается страна, можно более внимательно рассмотреть проблемы в двух регионах (Герегу и Иту), где правительство планирует построить атомные электростанции. Штат Коги - штат в северо-центральной области Нигерии. Здесь находится столица штата Локоджа. Штат расположен на пересечении двух крупнейших рек Нигерии - Нигера и Бенуэ. В штате средняя высокая температура составляет 33,2 °C, а средняя низкая температура - 22,8 °C. В штате два сезона: сезон дождей (с апреля по октябрь) и сухой сезон (с ноября по март). Среднегодовое количество осадков колеблется в пределах 1016 – 1524 мм. Геоландшафт штата характеризуется лесными саваннами, смешанными бобовыми, такими как акация, и молодыми осадочными породами вдоль русел рек. Высокий уровень природных минеральных ресурсов определяет состояние этого государства. В штате Коги в районе местного самоуправления Аджакута (LGA) предполагается построить атомную электростанцию.

Фермеры составляют большую часть местного населения. Благоприятные климатические условия являются одной из причин развития агропромышленного комплекса в штате Коги. В штате выращивают маниоку, ямс, кукурузу, овощи, домашнюю птицу, занимаются животноводством мелкого и крупного рогатого скота. В штате также расположены две электростанции: тепловая электростанция Герегу и тепловая электростанция Аджакута. Это военный и политический центр

страны. Две основные реки встречаются недалеко от Локоджи, столицы штата. Аджаокута в штате Коги - крупнейший сталелитейный завод в Нигерии. Он перерабатывает 1,3 млн тонн стали в год. Строительство завода началось в 1977 году и 90 процентов работ было завершено к 1990 году. Из-за ошибки со стороны Нигерии завод не был введен в эксплуатацию и был заморожен 25 апреля 2016 года. Федеральное правительство также подало заявку на строительство атомной электростанции штата [18].

Штат Аква-Ибом: По данным последней переписи населения NPC 2016 года, в штате Аква Ибом проживает около 5,48 миллиона человек. Штат расположен на юге Нигерии и занимает площадь 7 246,5 квадратных километров. Столица штата - Уйо, население которого составляет около 500 000 человек. Штат был образован в 1987 году на базе бывшего штата Кросс-Ривер и в настоящее время добывает самый большой объем нефти и газа в Нигерии. Штат имеет два крупных морских порта (морской порт Атлантического океана и международный аэропорт АКIA) и планирует построить морской порт международного стандарта (Oron Nation) в Ибаке. Сельское хозяйство является основой экономики штата: 90% населения проживает в сельской местности. Сельское хозяйство не только обеспечивает продовольствие и сырье, но также рабочие места, обеспечивая доходы в сельских районах. Промышленная база штата остается скромной и слаборазвитой, за исключением пивоваренных заводов (Чемпион), которые вновь открылись несколько лет назад. Создание атомной электростанции создаст больше рабочих мест для жителей штата, а также привлечет высококвалифицированных специалистов.

Чтобы сбалансировать экономику страны, вторую АЭС планируется построить в зоне местного самоуправления ITU (LGA) штата Аква Ибом, который, по прогнозам, будет находиться на юге Нигерии. В зоне местного самоуправления ITU штата Аква Ибом проживает 179 600 жителей (NPC 2016), а за территорию местного самоуправления отвечает администрация местного самоуправления. Население, проживающее на территории местного самоуправления площадью 606,1

квадратных километров, в основном занимается ремеслами, охотой, рыболовством и сельским хозяйством.

Краткий анализ социально-экономического положения населения Нигерии показывает, что страна нуждается в большем количестве энергетических ресурсов, которые позволили бы решить многие проблемы, связанные с развитием промышленного, сельскохозяйственного и экономического секторов, национальной экономики, а также проблемы социальной сферы [10, 18]. Однако методы, используемые некоторыми социальными группами населения для получения финансовых выгод (например, похищения людей с целью выкупа, пиратство, участие наемников в вооруженных формированиях) не приводят к глубокому убеждению в том, что строительство в стране АЭС, которое осуществляется иностранными специалистами, практически являющимися инородным телом в социуме Нигерии, не приведет к каким-либо актам насилия и похищениям их с целью получения выкупа. С другой стороны, создание атомной электростанции, которая является столь важным объектом и имеет столь высокий радиационный риск, всегда будет привлекать определенный контингент к использованию указанных ранее методов с целью получения соответствующего «заработка».

Атомные электростанции, скорее всего, будут строиться и эксплуатироваться в одном из упомянутых ранее регионов, поскольку условия строительства АЭС в этих регионах отвечают предъявляемым требованиям нормативных документов. Но, с другой стороны, именно, эти регионы характеризуются крайне низким социально-экономическим положением местного населения и, следовательно, низким уровнем образования. Поэтому, именно, эти два негативных фактора, характерных для местного населения, могут быть использованы для осуществления террористической деятельности, которая, несомненно, приведет к подрыву как авторитета страны, где построена АЭС, так и непосредственно к негативным последствиям для персонала, занимающегося ее эксплуатацией и, по-видимому, для местного населения [10, 18].

На экономику страны серьезно влияет недостаток в электроснабжении страны, что вызывает значительное замедление развития городских, сельских и пригородных поселений. Поэтому, чтобы как-то решить вопрос надежного обеспечения электроэнергией городского хозяйства, правительство в настоящее время создает новые правила в области энергетики, которые будут касаться не только городского, но и населения пригородов, а также население сельскохозяйственных регионов.

За последние 45 лет Нигерия перешла от использования газовых, нефтяных и гидроэлектростанций к угольным электростанциям для производства электроэнергии. В настоящее время большую часть энергетического баланса составляют газовые установки и гидроэнергетические системы. Есть гидроэлектростанции в Дженне, Каинджи и Сироро, а также газовые электростанции в южной части страны. В рамках Национального интегрированного энергетического проекта (NIPP) производство электроэнергии контролируют генерирующие станции, независимые производители электроэнергии и приватизированные генерирующие компании (GenCos) [20]. В настоящее время совокупная установленная генерирующая мощность составляет 12 800 МВт (см. Табл.1.1).

Таблица 1.1. Установленная мощность, пиковая и средняя почасовая выработка 2010-2020 г (Данные передающей компании Нигерии)

Год	Установленная мощность (МВт)	Пиковая выработка (МВт)	Средняя почасовая выработка (МВтч / ч)
2010	8460,40	3804,30	2856,16
2011	8910,40	3804,30	2856,16
2012	9995,40	4518,00	3366,69
2013	10915,40	4458,20	3382,19
2014	11165,40	4389,70	3439,04
2015	12132,40	4883,90	3597,60
2016	12317,40	5074,00	3248,06
2017	12324,40	5222,30	3595,43
2018	12910,40	5190,90	3843,72
2019	12974,40	5375,00	3818,38
2020	12974,40	5520,40	4043,37

1.3. Экономика Нигерии и необходимость ее диверсификации с помощью использования атомной энергии

Сырая нефть является самым продаваемым товаром в Нигерии. Его значение для экономики страны невозможно переоценить. С начала 1970-х годов нефтяная промышленность взяла на себя доминирующую роль в экономике. Общее экономическое благополучие Нигерии во многом определяется прибылями, полученными от нефтяного бизнеса. Однако добыча и разведка нефти также привели к возникновению ряда социальных, экономических и экологических проблем. Нигерия подсела на моно-экономику из-за доминирования нефтяного сектора и пренебрежения всеми другими секторами экономики. Как и большинство развивающихся стран,

Нигерия продолжает бороться с экономической диверсификацией из-за сильной зависимости от нефти как экономического товара. Экономическая диверсификация - это процесс, посредством которого экономика страны переходит от одного источника дохода к множеству источников дохода и рынков. Нигерия нуждается в экономической диверсификации. Экономика, которая сильно зависит от нефти, испытывает колебания в своем состоянии. Экономика Нигерии растет умеренно благодаря услугам, телекоммуникациям и сельскому хозяйству, но более 50% ее населения все еще живут в крайней нищете [21]. Вторая причина заключается в том, что темпы роста населения намного превышают темпы экономического роста. Мировые цены на нефть неуклонно растут с 1973 года, что привело к быстрому экономическому росту в сферах транспорта, строительства, производства и общественных услуг [21]. В результате значительное количество населения из сельской местности переехало в более крупные городские центры, что, в свою очередь, привело к перегруженности городов и, в конечном итоге, к росту пригородов. Чтобы ликвидировать или значительно сократить безработицу, стране необходимо проводить индустриализацию быстрыми темпами. Экономический рост и развитие, улучшение инфраструктуры, технологическое развитие и диверсификация экономики напрямую связаны с индустриализацией. Всего этого можно достичь только в том случае, если страна будет иметь надежное

энергоснабжение. В настоящее время индустриализация связана с автоматизацией большинства производственных процессов, что обуславливает необходимость широкого применения вычислительной техники, информационных технологий, высоких затрат энергии. Однако, учитывая отсутствие такой производственной деятельности, проблемы расширения ВВП страны неизбежны. Согласно последним данным, ВВП Нигерии вырос на 3,98% в четвертом квартале 2021 года, это пятый квартал подряд роста, поскольку страна работает над восстановлением после

последствий нефтяного кризиса, который серьезно повлиял на экономику страны. На долю торговли пришлось 5,34% прироста ВВП, на информацию и связь - 5,03%, на сельское хозяйство - 3,58%, на финансовые услуги - 24,14% и на другие услуги - 4,73%

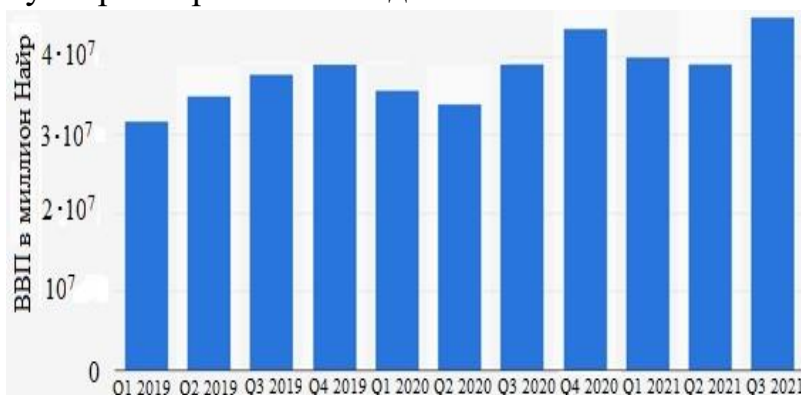


Рис. 1.6. Поквартальное изменение ВВП Нигерии, начиная с 1 квартала 2019 г. по 3 квартал 2021 г. [Источник: статистика НБС 2022 г.]

прироста ВВП [21]. Характер изменения ВВП Нигерии в период с 1 квартала 2019 года по 3 квартал 2021 года можно увидеть на рис.1.6. Хотя сезонность сельскохозяйственного сектора в Нигерии вряд ли повлияет на вклад других секторов в ВВП страны, низкие уровни, наблюдавшиеся во втором квартале 2021 года и третьем квартале 2020 года, можно объяснить этим фактором.

Нигерия – одна из крупнейших экономик Африки. Однако ее энергетический сектор не так эффективен, как в других странах. Как показано в Таблице 1 ниже, среднечасовое производство электроэнергии в Нигерии составляет менее 5000 МВт. Это даже ниже, чем производство электроэнергии в Индии на атомных электростанциях. Такая ситуация наносит ущерб росту промышленности и сельского хозяйства, а также общему качеству жизни населения. На общий устойчивый рост Нигерии негативно повлиял дефицит электроэнергии, который достиг кризисного уровня [6]. Как показано на рис. 1.1, отключения электроэнергии в Нигерии вынуждают владельцев малого бизнеса полагаться на «древние» методы освещения своих помещений. В результате большая часть электроэнергии в стране

производится с использованием сильно загрязняющих несетевых источников энергии, стоимость которых более чем в два раза превышает стоимость сетевой электроэнергии. Ситуация в Нигерии побудила правительство изучить потенциал ядерной энергетики как решения проблемы нехватки электроэнергии [6, 10, 22].

Ядерная энергетика имеет ряд преимуществ перед другими источниками энергии, используемыми для производства электроэнергии. Нигерия стремится развивать ядерную энергетику, которая открывает уникальную возможность способствовать социально-экономическому развитию любой развивающейся страны [10, 23].

КПД АЭС, работающих на тепловых нейтронах, составляет 32...35%. В результате их 22-процентная доля в мировом производстве энергии неуклонно растет. Это является свидетельством использования ими передовых технологий и их глобального опыта. Поскольку другие источники энергии, такие как уголь, нефть и газ, сильно загрязняют окружающую среду и ухудшают парниковый эффект, они считаются единственными источниками энергии, которые могут в значительной степени заменить эти источники [10, 18]. Ядерная энергетика — это проверенная технология, способная решить проблемы, связанные с высоким потреблением энергии в развитых и развивающихся странах, таких как США, Франция и Япония, а также в Южной Корее, Китае, Индии и др.

1.3.1. Обзор экономики Нигерии

По данным Всемирного банка, валовой внутренний продукт (ВВП) Нигерии в 2021 году оценивался в размере от 480 до 482 миллиардов долларов. Экономика Нигерии разделена на две части: нефтяной сектор и другие секторы, которые включают сельское хозяйство, торговлю, продукты питания, ИКТ, банковское дело, страхование, образование и многое другое. В 1950-х и 1960-х годах Нигерия росла темпами, сопоставимыми с темпами Бразилии, Индонезии и Малайзии, но сейчас она сильно отстает от них. Нигерия отстает от некоторых нефтедобывающих стран, когда дело доходит до применения и продвижения передовых технологий. В результате Нигерия сегодня остается беднее, чем она была при обретении независимости в 1960 году, несмотря на наличие богатых природных ресурсов. Если лидеры Нигерии осознают уроки прошлого плохого управления и объединят свои богатые при-

родные и человеческие ресурсы с продуктивным и устойчивым экономическим развитием, страна может стать крупным экономическим игроком [24]. К сожалению, нефтяное богатство страны не предотвратило и не сократило существенно нищету, а также деградацию основных социальных услуг и инфраструктуры. Нефтяной бум также вызвал нехватку рабочей силы в сельскохозяйственном секторе Нигерии, поскольку высококвалифицированные сельскохозяйственные рабочие перешли из сельской местности в пригородные и городские районы, где заработная плата оказывалась выше. Это послужило причиной того, что экономика Нигерии вступила в серьезную рецессию: растет городская и общая безработица, растет преступность, а большая доля населения живет за чертой бедности в результате снижения цен на нефть, коррупции и общей неэффективности на всех уровнях. Национальное бюро статистики (НБС) сообщило, что уровень безработицы по состоянию на конец 4-го квартала 2020 года составлял 33,3%. Сырая нефть является основным источником дохода Нигерии, и, хотя ее цена в последнее время выросла, она остается одним из основных источников дохода Нигерии. наиболее ценные товары в стране [25]. Если будет реализовано сбалансированное экономическое управление, нефтяной сектор может обеспечить прочную основу для долгосрочного экономического роста страны, экономической диверсификации и повышения уровня жизни в ближайшие десятилетия. Одна из главных экономических проблем Нигерии заключается в том, что она начинает сталкиваться с серьезными экономическими проблемами из-за снижения цен на сырую нефть. Диверсификация экономики страны может обеспечить решение этой проблемы. Для этого Нигерия должна использовать свои природные ресурсы в качестве источников энергии, альтернативных нефти, и работать над повышением производительности и производства сельскохозяйственной продукции, а также над широкой индустриализацией нефтяного сектора и разработкой энергетических программ [25]. Вот почему правительству следует уделять больше внимания преодолению энергетического кризиса, от которого Нигерия страдает уже много лет, путем использования атомной энергии в качестве основной отрасли производства электроэнергии [6, 25].

1.3.2 Отрасли экономики Нигерии.

Сельскохозяйственный сектор

Тем не менее, по данным Национального бюро статистики, 70% рабочей силы Нигерии занято в сельскохозяйственном секторе, а на этот сектор приходится 25% ВВП. В сельском хозяйстве Нигерии в основном занимаются переработкой и производством продуктов животноводства как крупного, так и мелкого рогатого скота. Основной продукцией, производимой сельскохозяйственным сектором, являются хлопок и какао-бобы; масличные культуры; зерновые; резина; древесина; и рыбные продукты [21, 24]. Некоторые из этих продуктов могут экспортироваться, но большая их часть производится и потребляется в Нигерии. Федеральное правительство отвечает за сельское хозяйство и развитие сельских районов в Нигерии. FMARD получает львиную долю финансирования страны от федерального правительства и в настоящее время управляет около 50 парастатическими департаментами или агентствами.

Общий рост сельскохозяйственного сектора в 2021 году в Нигерии составил 1,3% (в годовом исчислении), но материалы Национального бюро статистики (НБС) за второй квартал 2021 года (см. Рис. 1.7) показывают, что вклад сельскохозяйственного сектора в ВВП Нигерии в реальном выражении имеет более сложную сезонную картину в 2021 году [21]. Большинство этих фермеров ведут



Рис. 1.7. Вклад сельского хозяйства в ВВП Нигерии с 3 квартала 2019 г. по 3 квартал 2021 г. [Источник: статистика НБС 2022 г.]

натуральное хозяйство, выращивая одну или несколько товарных культур и продвая изделия ручной работы местного производства, что-бы пополнить свой скудный доход (см. Рис. 1.1). В

некоторых частях страны доступ к земле ограничен, а в других наблюдается нехватка сельскохозяйственных земель. Снижение производительности и

стагнацию в сельском хозяйстве Нигерии можно объяснить низким уровнем энергоснабжения сельского хозяйства при его механизации, деградацией окружающей среды, отсутствием хранилищ, отсутствием транспортной инфраструктуры и отсутствием инвестиционного капитала [21]. Несмотря на усилия правительства по улучшению ситуации, отсутствие продовольственной безопасности в Нигерии сохраняется из-за быстрой урбанизации и роста населения. Государственные лесные резервы Нигерии составляют менее 10% территории страны. За пределами этих заповедников большая часть лесного покрова уничтожается в результате незаконных вырубок и регулярного выжигания кустарников для подготовки земель для проведения сельскохозяйственных работ (см. рис. 1.8).

Вырубка лесов наиболее распространена в наиболее населенных районах, таких как дельта Нигера и сухие саванны, где выпас скота, лесные пожары и высокий спрос на древесину препятствуют нормальному возобновлению древесных растений (рис. 1.8). Нигерия ежегодно



Рис. 1.8 – Незаконная лесозаготовка в Нигерии.

импортирует продовольствие на сумму около 10 миллиардов долларов, чтобы покрыть дефицит продуктов питания и агропродовольственных товаров (в основном зерновых, риса, кур, рыбы, общественного питания и потребительских товаров). Европа, Азия, США, Южная Америка и Южная Африка являются основными импортерами этой продукции. Стратегия первичного вмешательства (ABP) CBN была запущена в 2015 году с целью сокращения импорта продуктов питания, а также стабилизации и увеличения сельскохозяйственного производства. В последние годы сельскохозяйственный сектор Нигерии пострадал от нескольких потрясений, таких как спорадические наводнения и восстания Боко Харам (БХ) [18], которые помешали фермерам выполнять сельскохозяйственные работы.

Похищения людей и столкновения между пастухами и местными фермерами также негативно повлияли на сельскохозяйственный сектор [10]. Четырехлетняя стратегия правительства направлена на то, чтобы помочь экономике оправиться от последствий COVID-19 и снизить зависимость страны от добычи нефти. Правительство Нигерии переключает свое внимание с макроэкономического роста на развитие сельского хозяйства, чтобы раскрыть значительный потенциал роста и экспортный потенциал страны. Целью недавних среднесрочных национальных программ развития (НПР) является значительное расширение экспорта и производства в тесном сотрудничестве с инвесторами частного сектора.

План восстановления и роста экономики страны (ERGP) на период с 2017 по 2021 год поддерживал промышленность, малые и средние предприятия (МСП) и сельскохозяйственный сектор как ключевые области экономической диверсификации; однако проблемы энергетической безопасности Нигерии необходимо срочно решать путем диверсификации источников энергии и включения ядерной энергетики в качестве ключевой отрасли, которая может обеспечить устойчивый промышленный рост и увеличить сельскохозяйственное производство. Несмотря на то, что заинтересованные стороны в сельском хозяйстве Нигерии продолжают сталкиваться с серьезными проблемами с точки зрения производства, такими как отсутствие продовольственной безопасности, дешевый импорт и рост экспорта, в этом секторе существуют широкие возможности для дальнейшего роста. Правительству необходимо решить проблему контрабанды продуктов питания, поскольку она будет препятствовать развитию промышленно развитой сельскохозяйственной экономики Нигерии в долгосрочной перспективе.

Нефтяная промышленность

Нигерия открыла нефть в 1901 году и начала коммерческую разработку в 1956 году. Сегодня Нигерия является 8-м по величине экспортером нефти в мире и является членом Организации стран-экспортеров нефти (ОПЕК) с 1971 года. Двумя основными экспортными товарами нефти Нигерии являются Forcados и Бонни Лайт. Добычей нефти в Нигерии управляют совместные предприятия между

Национальной нефтяной компанией Нигерии (NOC) и такими транснациональными компаниями, как Shell (Шелл), ExxonMobil (ЭксонМобил), Chevron (Шеврон) и другие.

Нефтяная промышленность обеспечивает Нигерии 95% экспортных доходов и 14% ВВП, а также 80% доходов бюджета страны. На долю добычи нефти и нефтепродуктов в Нигерии приходится большая часть подводной нефтяной деятельности в дельте Нигера, и со временем фокус отрасли постепенно сместится в область глубоководной нефтедобычи, которая потребует увеличения инвестиций [21].



Рис. 1.9. Диаграмма добыча нефти в Нигерии. Снижение добычи на 28% (до 1,26 млн баррелей в сут- ки) в феврале 2022 г. по сравнению с февралем 2020 года. [Данные ОПЕК]

снизить добычу нефти. Множество небольших месторождений в болотистой дельте Нигера поставляют в Нигерию всю сырую нефть. К сожалению кража нефти и ее незаконная переработка в Нигерии находятся на рекордно высоком уровне [21, 26]. Значительная зависимость экономики от доходов, получаемых от торговли сырой нефтью, приводит к высокой степени коррупции чиновников, контролирующих эту область экономики, что непосредственно выражается в непосредственном хищении валютной выручки из казны государственных доходов.

Администрация обеспокоена этой огромной потерей доходов, которая, несомненно, затрагивает практически все сферы экономики. Например, считается,

что кража сырой нефти из хорошо налаженных нефтепроводов в Нигерии приводит к потере тысяч баррелей сырой нефти ежегодно. Если включить величину этих потерь в бюджет страны, то национальный бюджет на образование может увеличиться в 16 раз.

Другая сторона нефтедобычи в дельте реки Нигер касается экологии окружающей среды. В этом регионе сильно загрязнен как воздушный бассейн, так и акватория реки, что несомненно негативно влияет на здоровье местного населения [21, 27, 28], поскольку реки этого региона, используемые в основном для рыболовства, в настоящее время практически непригодны для лова рыбы из-за экологических проблем, связанных с разливами нефти, которые вызваны действиями нелегальных нефтяников. Аналогичные проблемы возникают в сельскохозяйственном секторе, который усиливает безработицу и приводит к обнищанию населения, уничтожая его естественные средства к существованию. Правительству необходимо донести до широкой общественности социальные и экономические опасности этой «бизнес-деятельности» и использовать финансовые и экономические меры, чтобы остановить их, чтобы решить экологические и социальные проблемы, которые они вызывают [28]. Это должно быть сделано в соответствии с руководящими принципами и требованиями, изложенными в кампании «Защитим окружающую среду». Правительство вкладывает значительные средства в энергетику и переработку, чтобы обеспечить достаточно топлива и электроэнергии для снижения спроса на топливо, которое было незаконно очищено для использования на электростанциях. Существует также необходимость в строгом судебном преследовании с конкретными судебными процессами и графиками в отношении правонарушителей.

Производственный сектор Нигерии

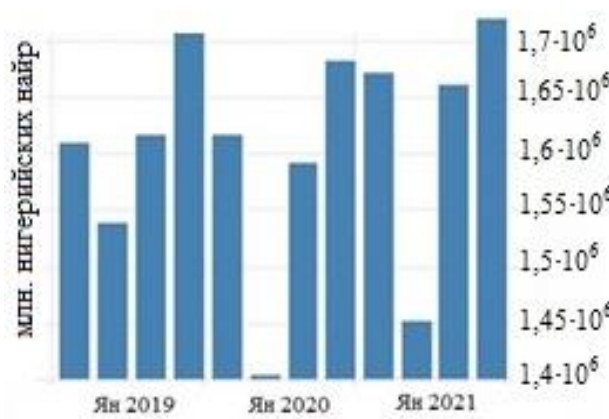


Рис. 1.10. ВВП Нигерии в производственном секторе

Обрабатывающая промышленность в Нигерии является сектором экономики, который ежегодно обеспечивает примерно 10% от общего объема ВВП. Производственная деятельность сосредоточена в крупных городах, таких как Лагос, Порт-Харкорт и Ибадан на юге страны. Миллионы людей заняты в

производстве бытовых товаров народного потребления, автомобилей, продуктов сельского хозяйства, добычей полезных ископаемых, производством цемента, строительных материалов и т. д. [29].

Производственный сектор включает в себя следующие виды деятельности: Нефтепереработка, Цемент и пищевая продукция, Табачные изделия, Текстиль, одежда и обувь, Древесина и изделия из дерева, Целлюлозно-бумажная продукция, Химическая и фармацевтическая продукция, Неметаллические изделия, Пластмассовые и резиновые изделия; Продукция электронной промышленности, Производство неметаллических, чугуновых и стальных прокатов, Автосборочное производство [29]. Как следует из рис. 1.10, ВВП производственного сектора Нигерии увеличился с 1 660 563,82 млн NGN в третьем квартале 2021 года до 1 719 788,87 млн NGN в четвертом квартале 2021 года. Пандемия COVID-19 отрицательно повлияла на производственную деятельность в стране. Основные проблемы, с которыми сталкивается нигерийское производство, связаны с энергоснабжением, логистикой и транспортом. Нигерийское производство сталкивается с серьезными проблемами с точки зрения цепочки поставок, логистики и транспорта. Экономическая коррупция является основным препятствием для развития бизнеса, поскольку большинство компаний вынуждены полагаться на «аварийные» генераторы электроэнергии из-за нестабильного энергоснабжения, что приводит к увеличению затрат. Нигерийские компании также изо всех сил пытаются получить кредит, цены на импортное сырье высоки, квалифицированной рабочей силы не хватает, а инфраструктура страны слаба [29]. Будущее Нигерии может быть определено

шагами, предпринятыми для спасения этого сектора. Поэтому поддержка местных промышленников с их разнообразными интересами в производстве и строительстве позволит решить многие проблемы и будет способствовать росту страны.

Сектор услуг в Нигерии

Сектор услуг является одной из ключевых отраслей, которые способствуют экономическому росту и конкурентоспособности страны. Развитие сети продаж и потребления продуктов питания (продуктовые магазины, кафе, рестораны), средства массовой информации, розничная торговля, банковское дело, страхование и финансы, туризм и массовая культура - это лишь некоторые из подотраслей сферы услуг, которые нуждаются в быстром расширении и эффективном трудоустройстве населения страны. Это потребует развития сферы здравоохранения и образования. Авиаперелеты также являются практичным способом доставки потребительских товаров. В этот список следует также включить доступ к воде и электроэнергии, а также хорошо развитую дорожную систему и путешествия на тему африканской экзотики. Помимо повышения уровня жизни своего народа, способность страны предоставлять эти услуги внутри страны в долгосрочной перспективе будет работать как волшебный трюк, удовлетворяя любой спрос клиентов и тем самым внося значительный вклад в рост туризма и приток иностранных туристов. капитал. Нефтяная промышленность является движущей силой экономической деятельности Нигерии, но она ограничивает экономические показатели страны и препятствует многостороннему развитию экономики. В результате внимание правительства Нигерии было сосредоточено на нефтяном секторе [21, 30]. Теперь, в условиях глобализации ИКТ, Нигерии необходимо сосредоточиться на росте ИКТ. Заинтересованные стороны в области ИКТ в Нигерии должны объединить усилия, чтобы закрепить успехи 2021 года и увеличить вклад сектора в экономику Нигерии. Этого можно добиться, попросив федеральное правительство определить приоритетность каждого сегмента отрасли. Телекоммуникационные технологии, оборудование и спутниковая широкополосная связь, а также инновационные стартапы должны находиться в верхней части списка приоритетов федерального

правительства. Оказывая этим заинтересованным сторонам широкую поддержку и позволяя им расширять свою деятельность и извлекать выгоду из результатов своих усилий, этот сектор может еще больше способствовать увеличению ВВП.

1.3.3. Проблемы экономики и их возможные решения

Нигерия уже давно считается страной третьего мира. Страна является одной из самых бедных стран в мире, несмотря на свой огромный экономический потенциал. Страна добилась больших успехов в нескольких секторах экономики, таких как производство, услуги, банковское дело, технологии, связь и развлечения. Однако гораздо большего можно ожидать от нефтяного богатства страны и гораздо большего от ее сельскохозяйственного сектора, учитывая ее обширные сельскохозяйственные угодья, минеральные ресурсы и потенциал экономического развития, которое принесет пользу другим странам и народам. Ниже приведены некоторые проблемы, выступающие сегодня перед нигерийской экономикой, и некоторые возможные их решения.

Коррупция. Конечно, коррупция в определенной степени существует в каждой стране. Однако в Нигерии коррупция широко распространена [28] и проникла на многие уровни управления [21, 31]. По оценкам, Нигерия ежегодно теряет миллиарды долларов из-за коррупции в правительстве. Это включает в себя все: от мошенничества с контрактами на высоком уровне до взяточничества на низком уровне, схем отмывания денег, а также растраты и выплаты фальшивым сотрудникам и их работодателям. Одним из возможных решений этой проблемы является использование метода, однозначно устанавливающего затраты на рабочую силу, материалы, конечную продукцию, вознаграждение управленческого персонала, налоги и прибыль. Если такая система будет создана, это позволит быстро выявлять сотрудников, причастных к различным видам мошенничества [32]. Этого можно добиться в течение ограниченного времени в любом производстве, а также в масштабах всей страны, сосредоточив внимание на таком «бескорыстном» производстве в конкретной, ограниченной области и на ограниченный период времени за счет применения налоговой системы, уголовного законодательства и жесткой вертикали власти. Но, как показывает опыт, такие

условия производства неустойчивы, поскольку общество, как и любая развивающаяся система, не может существовать изолированно от окружающей среды, без взаимодействия с которой оно погибнет. Здесь уместно воспользоваться принципом АЛАРА, согласно которому предлагаемые методы решения этой проблемы должны предложить условия существования более выгодные, чем ранее существующие. При этом следует учитывать, что предлагаемые методы должны распространяться не только на производство, но и на социальную среду. Также следует рассматривать решение проблемы в рамках более широкого системного подхода. В результате взаимодействие социума с обновленной средой приведет систему к необходимости адаптироваться к новым условиям. Но полностью исключать подобного заболевания в новых социальных условиях невозможно. Коррупция может адаптироваться и к новым условиям. Существование коррупции в стране является признаком того, что социально-экономические условия в стране нездоровы. Коррупция – это болезнь общества, которую необходимо лечить, но, как и преступность, ее невозможно полностью искоренить. Прежде всего, стратегии по уменьшению этого социального зла в обществе включают просвещение населения, создание новых возможностей трудоустройства, строительство школ, и детских учреждений, а также обеспечение ухода за женщинами и пожилыми людьми. Большинство людей примут социальные преимущества, предлагаемые правительством, если они настолько обширны. Например, люди могут соглашаться на социальные льготы по чисто прагматическим причинам, например, потому, что найти хорошую работу проще, чем совершить мошенничество, за которое может последовать тюремное заключение. Несомненно, именно так поведет себя большинство жителей страны, но не все. Особая группа людей склонна к асоциальному поведению, среди которой, возникают самые «талантливые» исполнители. В отношении последних следует принять самые суровые меры, поскольку именно они, к сожалению, будут переносчиками упомянутых выше социальных болезней. Создание надежных антикоррупционных организаций является дополнительным инструментом и путем к успеху в борьбе с коррупцией.

Изменения в административной политике: Нигерия сталкивается с множеством проблем с точки зрения развития и экономического роста, но одной из

самых серьезных является политическая непоследовательность. По мнению NCDP, низкие темпы роста и экономические показатели Нигерии во многом объясняются отсутствием стабильности и последовательности в политике сменявших друг друга правительств. Хотя понятно, что новое правительство хочет установить легитимность посредством новых законов, цели нового правительства могут не отвечать интересам граждан страны. Вместо реализации политики, инициированной предыдущими правительствами, каждое новое правительство всегда выдвигает новые политические инициативы. Придя к власти, новая администрация зачастую отказывается от существующих инициатив предыдущих правительств. Иногда это приводит к экономической нестабильности, поскольку новое правительство игнорирует или отвергает прошлые инициативы по созданию нового. Это также приводит к большому количеству заброшенных проектов и финансовым потерям, поскольку предыдущие инициативы также требовали средств для развития. Решением этой проблемы может стать сохранение нейтралитета политических партий и поддержание стабильности в управлении. Если пересмотр не потребуется, политики и гражданские лица должны быть готовы придерживаться политики предыдущих правительств.

Недостаток квалифицированных кадров и слабая система образования. Ценность квалифицированной рабочей силы невозможно переоценить. Ни одна страна не достигла технологического прогресса и не достигла больших экономических высот без квалифицированной рабочей силы. Большинство экономических проблем Нигерии напрямую связаны с недостатком профессионализма. Если страна хочет преодолеть свои экономические проблемы, необходимо проделать большую работу по созданию квалифицированной рабочей силы. Национальная система образования также недостаточно развита и плохо подготовлена к решению этих проблем. В большинстве учебных заведений до сих пор используются учебные материалы десятилетней давности, не соответствующие современным стандартам. Будущие лидеры этой страны будут лишены навыков, мудрости и морали, необходимых для того, чтобы вести нацию в правильном направлении, из-за отсутствия знаний в теории и практике. Для улучшения образовательных стандартов правительству следует: увеличить финансовую

поддержку образования; провести переподготовку и мотивацию учителей на всех уровнях; построить образовательную инфраструктуру и создать среду, способствующую обучению учителей и учащихся, для улучшения образовательных стандартов.

Рост преступности и высокий уровень безработицы. Преступность – это глобальная проблема, которая в разной степени затрагивает страны. Это влияет на политическую стабильность, социальное и экономическое развитие и туризм. Любая страна, которая хочет прогресса, должна радикально снизить преступность. В последние годы преступность в Нигерии растет. Преступные группировки в Нигерии не являются организациями мафиозного типа, как в других странах. В эти банды труднее проникнуть, поскольку они кажутся менее формальными, более семейными и этническими. Тот факт, что в Нигерии в общей сложности существует 250 различных этнических языков, усложняет полицейские расследования [31]. Преступность наносит вред обществу, а также политическому и экономическому развитию. Отсутствие образования и медленный экономический рост в Нигерии способствуют высокому уровню безработицы среди молодежи в стране. Это основной фактор преступной деятельности, такой как похищение людей, политический вандализм, бункеровка нефти и вооруженные грабежи, среди прочего. Подъем бандитизма и появление «Боко Харам» привели к увеличению количества террористических атак в стране в последние годы [10, 25]. Необходимы дальнейшие усилия для улучшения доступа к образованию и экономического роста, а также восприятия общественностью информации, которая должна предоставляться сотрудникам правоохранительных органов.

Недостатки в развитии инфраструктуры. Инфраструктура играет жизненно важную роль в экономике, особенно в промышленном секторе. Надежная и хорошо функционирующая инфраструктура снижает затраты, стимулирует инвестиции, облегчает перемещение людей, товаров и услуг, а также облегчает поток информации и коммуникаций. Большая часть инфраструктуры Нигерии, включая дороги, электроснабжение и водоснабжение, находится в плохом состоянии ремонта и обслуживания. Это препятствует развитию важнейших компонентов

инфраструктуры, в основном из-за долгосрочного процесса строительства, безрассудного использования, коррупции и отсутствия адекватного государственного финансирования [21]. Плохая инфраструктура приводит к низкой производительности труда, более высокой себестоимости производства продукта и более высоким ценам реализации. В результате конечный продукт становится менее привлекательным для потребителей по сравнению с менее дорогими альтернативами. Это, в свою очередь, снижает уровень жизни населения, что, в свою очередь, побуждает часть из них заниматься незаконной деятельностью, тем самым повышая уровень преступности. Неудовлетворительная инфраструктура также приводит к снижению доходов производителей, что приводит к увольнениям сотрудников. Чтобы удовлетворить растущий общественный спрос на улучшение социальных условий и сократить бедность в Нигерии, правительственные реформы должны быть сосредоточены на инфраструктуре, а не на других секторах экономики, таких как энергетика, сельское хозяйство, здравоохранение, образование и транспорт. Кроме того, при назначении руководителей этих производственных секторов должен применяться строгий финансовый контроль, при этом выбираются граждане, чья честность и достоинство безупречны.

1.3.4. Особенности развития ядерной энергетики Нигерии

Федеральное министерство науки и технологий курирует «Комиссию по энергетике Нигерии», которая отвечает за энергетическую политику страны. Эта комиссия тщательно оценивает ряд факторов, включая тип строящейся электростанции, лучшее место для объекта, стоимость контракта, страну, из которой будет поставлена станция, эксплуатационные проблемы и т.д. В результате по сравнению с предыдущими временами, энергетический сектор претерпел значительные преобразования благодаря растущему участию правительства в отрасли и управлению новыми проектами по производству и передаче электроэнергии.

В первом этапе приватизации приняли участие 5 генерирующих и 10 распределительных компаний. Результаты энергетического сектора оказались не очень обнадеживающими и в ноябре 2019 года Сенат Нигерии предложил правительству изучить потенциал ядерной энергии для энергетического баланса страны. Федеральное правительство также получило предложения от Нигерийской

сети ядерной молодежи (NYNG) о том, как использовать ядерную энергию для решения энергетических проблем страны. МАГАТЭ обратилось к стране с просьбой разработать планы по производству до 4000 МВт ядерной энергии к 2030 году для удовлетворения растущего спроса на электроэнергию [22, 23]. Стратегия реализации и техническая основа ядерно-энергетической программы федерального правительства были утверждены в 2007 году. План включал строительство и ввод в эксплуатацию новой АЭС, сертификацию проекта АЭС, утверждение нормативных актов и лицензий, и обеспечение обучения персонала. В 2009 году был также разработан стратегический план [23] по максимальному строительству АЭС мощностью 2000 МВт к 2027 году и мощностью 4000 МВт к 2030 году. Кроме того, в 2013 году МАГАТЭ (Международное агентство по атомной энергии) создало миссию ИНИР. Миссия ИНИР состоит из группы экспертов, имеющих опыт работы в области ядерной инфраструктуры. Руководителем миссии ИНИР является сотрудник МАГАТЭ, имеющий опыт оказания комплексной помощи в строительстве ядерной инфраструктуры (как правило, из Отдела ядерной энергии или внешние эксперты под руководством сотрудника (как это было в 2015 году)). NNRA (Управление по ядерному регулированию Нигерии) было создано в 2009 году в качестве регулирующего органа для всех ядерных материалов и радиоактивных источников. NNRA является частью NEPIC (Комитета по реализации национальной энергетической программы). NNRA работает в рамках FPR (Федерального министерства нефтяных ресурсов) и сотрудничает с NAEC (Комиссией по атомной энергии Нигерии). В октябре 2010 г. Комиссия по атомной энергии Нигерии (NEAC) определила для изучения их характеристик 4 площадки, пригодные для строительства АЭС [22, 24]. Анализируемые в 2014-2015 гг. характеристики регионов Герегу и Иту сделали их предпочтительными местами для строительства электростанций [23, 25]. В настоящее время около 30 стран мира изучают, планируют или запускают проекты ядерной энергетики. Поскольку население Нигерии продолжает расти, а страна становится все более урбанизированной, существует острая потребность в большем количестве электроэнергии как для домашнего, так и для коммерческого использования. Реализация Национальной программы по атомной энергии (НЭП) дала

дополнительные стимулы для увеличения мощности электростанций, что позволит существенно улучшить энергетический баланс страны.

1.4. Особенности эксплуатации объектов использования атомной энергии, включая и АЭС, в развитых странах

Электричество является важным ресурсом для экономического роста, национального развития, достижения ЦРТ и надлежащего уровня жизни. По мере роста населения и экономики Нигерии потребность в электроэнергии возрастает. Это может привести к тому, что дефицит поставок достигнет кризисного уровня и может повлиять на достижение устойчивого развития. Эта критичность вынудила страну рассмотреть возможность использования ядерной энергетики для производства электроэнергии для удовлетворения ожидаемых потребностей. Анализ научной литературы по вопросу развития энергетики Нигерии показал, что существующий энергетический кризис в стране [6] требует пристального внимания с точки зрения разработки стратегии строительства энергетических объектов и их типа: гидроэлектростанции, газовые, тепловые станции, ветроэнергетические объекты, объекты, работающие на возобновляемом биологическом топливе и, наконец, атомные электростанции, поскольку существующий дефицит электроэнергии в стране крайне негативно влияет на ее экономику, серьезно замедляя развитие городской, сельской и пригородных поселков и новых промышленных объектов, с учетом их особенностей и социальной значимости. Ядерная энергетика способствует социально-экономическому росту любой страны, поскольку имеет ряд преимуществ перед другими видами топлива, кроме поставок электроэнергии [10, 33]. Об этом свидетельствует количество проектов реакторов и стоимость необходимого оборудования и услуг. Ядерная энергетика может обеспечивать топливо и техническое обслуживание до тех пор, пока радиоактивные отходы не будут утилизированы. В рамках этой отрасли также могут создаваться новые рабочие места, требующие, в свою очередь, расширения промышленной инфраструктуры и обученных специалистов. Отраслевые правила и законы, соответствующие международным стандартам безопасности, также служат подтверждением возможностей ядерной энергетики.

Французская атомная промышленность непосредственно способствует созданию около 250 000 рабочих мест.

Мир имеет устойчивый доступ к производству атомной энергии уже более 50 лет. По состоянию на январь 2014 года в 32 странах работало 440 ядерных реакторов, которые производили 17% мировой электроэнергии. Еще 72 реактора строились в 15 странах. По данным Всемирной ядерной ассоциации, в 1996 году на регионы Западной Европы приходилось 33% мирового производства атомной энергии, за ними следовали Франция (77%), Бельгия (57%) и Швеция (52%). Ожидается, что в период с 2007 по 2035 год мировое производство атомной энергии вырастет на 73%. Африка, Китай, Индия и Россия будут иметь самый высокий спрос на новые источники энергии, что сделает их потенциальными рынками для новых реакторов. Что касается общего объема производства атомной энергии, то крупнейшим производителем являются Соединенные Штаты, за ними следуют Франция, Япония, Германия и Российская Федерация.

Согласно последним исследованиям, совокупные выбросы парниковых газов на всём жизненном цикле у АЭС минимальны и сопоставимы с выбросами ветро-станций, что и определяет их полное отсутствие. При этом, следует отметить, что атомная энергетика имеет нулевые прямые выбросы CO₂, в отличие от ископаемого топлива такого как уголь, нефть и природный газ, которое значительно загрязняет атмосферу и способствует парниковому эффекту. Это обстоятельство и обуславливает тот факт, что в Нигерии все большее внимание уделяется ядерной энергетике как инструменту борьбы с изменением климата и сохранением экологии окружающей среды, при удовлетворении растущего глобального спроса на электроэнергию. Атомная энергетика — это экономически эффективный, безопасный, надежный и чистый источник энергии, который удовлетворяет большинство энергетических потребностей промышленно развитых стран, таких как США, Франция, Япония, Россия, Южная Корея, Китай и другие.

Ядерные технологии могут использоваться не только для производства электроэнергии, но и в различных невоенных целях. Современные проблемы, такие как продовольственная безопасность, могут быть решены с помощью применения ядерных технологий, которые также используются для выявления болезней

животных и повышения продуктивности сельского хозяйства, особенно в Латинской Америке и Африке [10]. МАГАТЭ помогает странам использовать ядерные технологии для диагностики и лечения рака и других заболеваний, а также других видов применения ядерной медицины, полезных для здоровья человека [10], поскольку мирное применение радиационных технологий, используемых для защиты окружающей среды, помогают ученым понимать и решать экологические проблемы, такие как изменение климата, контролировать загрязнение морской среды и бороться с закислением акваторий и подстилающей поверхности [34].

1.5. Обоснование необходимости разработки специализированных средств и методов, обеспечивающих радиационно-экологический контроль регионов при строительстве АЭС в Нигерии

Хотя различные исследования показали, что нормальная эксплуатация атомной энергетики не оказывает существенного воздействия на окружающую среду, тем не менее при работе АЭС необходимо осуществлять ее постоянный мониторинг. Дозы для населения и даже профессиональных работников могут возрасти при возникновении радиационных аварий или инцидентов, поэтому постоянный отраслевой анализ выбросов радиологических отходов и мониторинг окружающей среды важны для поддержания благоприятного общественного мнения о ядерной энергетике. Чем более точная, научно обоснованная информация может быть предоставлена гражданам, тем больше вероятность того, что они будут делать обоснованные, неэмоциональные суждения о ядерной энергетике. Необходимость повышения радиационной безопасности предприятий атомной отрасли является актуальной проблемой атомной отрасли, а проблемы радиационной безопасности в атомной отрасли тесно связаны с экологическими проблемами. Воздушные и водные бассейны и подстилающая поверхность, определение дозы радиации для населения и другие задачи – все это задачи, которые необходимо решать при строительстве и эксплуатации АЭС [12]. Решение экологических проблем в районе АЭС заключается в контроле радиационной обстановки в районе, который осуществляется посредством использования систем радиационного контроля. В ходе работы были сформулированы основные цели, функции и задачи систем радиационного контроля, размещаемых вокруг предприятий атомной

промышленности и других территорий предприятий, связанных с ионизирующим излучением. Роль автоматизированной системы радиационного контроля заключается в непрерывном мониторинге радиационной обстановки на территории АЭС путем сбора и обработки данных с постов контроля, включая промышленную площадку (ПП), санитарно-защитную зону (СЗН) и зону наблюдения (ЗН) [35, 36]. Система также включает в себя прогностические расчеты распространения радиоактивности с использованием моделей природных процессов в атмосфере, оценку дозовых нагрузок на персонал и население при нормальной эксплуатации и в случае ядерной аварии, и, кроме того, предоставление своевременной информации лицам, принимающим решение о радиационной обстановке на ПП, в СЗЗ и ЗН на случай возникновения радиационной аварии [35 - 38].

1.6. Выводы по первой главе

Таким образом, анализ социально-экономических проблем в Федеративной Республике Нигерия показал, что несмотря на то, что страна богата полезными ископаемыми, такими как нефть, газ, каменный уголь, железная руда и т.п., располагает обширными сельскохозяйственными угодьями, лесными массивами и реками, позволяющими их использовать для строительства ГЭС, страна тем не менее испытывает значительные трудности в построении современного государства с развитой экономикой, населением, получающим образование, позволяющее удовлетворить запросы промышленности и сельского хозяйства, продуктов которого оказывается недостаточно, чтобы прокормить население. К сожалению, подобные проблемы характерны для развивающихся стран и обусловлены, в основном, историческими условиями, в рамках которых Нигерия представляла собой колонию Великобритании.

Метрополия не была заинтересована в развитии экономики Нигерии как колонии, достаточным условием ее развития определялось производством по добыче ископаемого сырья, удовлетворяющего спрос метрополии. Но получив независимость в 1960 году, страна была вынуждена искать собственный путь оптимального развития. Наряду с проблемами, которые метрополия оставила Нигерии, возникла еще одна из значительных проблем, обусловленная стремительным ростом населения в стране. Отсутствие промышленных

производств, предоставляющих рабочие места, сокращение плодородных земель, используемых в сельском хозяйстве, приводит к миграции населения в города, а отсутствие работы — к росту преступности, усугубляющейся конфессиональным противостоянием определенных групп населения.

Решение этих проблем может быть найдено при росте энергопотребления в стране, предоставляемого строительством энергетических источников, т.е. газовых, угольных, ГЭС и источников, работающих на жидком топливе нефтепереработки.

Однако современные требования охраны окружающей среды требуют от правительств разработки источников электроэнергии не загрязняющих окружающую среду, поэтому большинство из указанных энергетических источников в настоящее время нецелесообразно использовать по причине возможного ее экологического загрязнения. Выход из создавшейся ситуации правительство Нигерии видит в строительстве АЭС, эксплуатация которых при штатной работе не приводит к экологическому загрязнению окружающей среды.

Однако исследования показали, что несмотря на то, что нормальная эксплуатация атомной энергетики не оказывает существенного воздействия на окружающую среду, при работе любых ОИАЭ, крайне важным является ее постоянный радиационный мониторинг. Проведение подобных работ при эксплуатации таких объектов является необходимым условием, которое осуществляется с целью профилактической оценки дозовых нагрузок на персонал и население, которые могут возрасти, при возникновении радиационной аварии, обусловленной выходом радиоактивных продуктов в окружающую среду [39 — 42]. Повышение радиационной безопасности атомных электростанций и других предприятий атомной отрасли является актуальной проблемой атомной энергетики, причем вопросы радиационной безопасности атомных электростанций тесно связаны с экологическими проблемами. К ним относятся: радиационный контроль и мониторинг воздушного и водного бассейнов, подстилающей поверхности, а также оценка дозовых нагрузок при облучении населения и другие задачи.

В ходе работы сформулированы основные цели, функции и задачи систем радиационного контроля в зоне расположения атомных электростанций и других радиационно-опасных предприятий атомной отрасли. Задача автоматизированной системы радиационного контроля — постоянный контроль радиационной

обстановки на территории АЭС. Этот контроль осуществляется на промышленной площадке (ПП) АЭС, в санитарно-защитной зоне (СЗЗ) и зоне наблюдения (ЗН) в результате автоматизированного сбора и обработки данных со станций (постов) радиационного мониторинга. Кроме того, он включает в себя выполнение прогностических расчетов распространения радиоактивной примеси в атмосфере с использованием математических моделей, описывающих эти процессы, а также осуществляет оценку дозовых нагрузок на персонал и население при нормальной эксплуатации и в случае радиационной аварии. Последнее предполагает предоставление лицам, принимающим решения, оперативную достоверную информацию о радиационной обстановке на территориях ПП, СЗЗ и ЗН.

ГЛАВА 2. Особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты и окружающую среду

При прохождении ионизирующего излучения (ИИ) через биологическую среду или ткань биологического объекта в первую очередь следует учитывать тип ионизирующего излучения (α , β , γ , n_0 , p и np .), поскольку его поглощенная доза сильно зависит от качества этого излучения, т.е. свойства ионизирующих частиц (т.е. их ионизирующая способность), что, в свою очередь, зависит от их массы, заряда и энергии, а также заряда и плотности (например, заряда и плотности) вещества, которое ионизатор распространяется [43]. Поглощенная доза - это энергия ионизирующего излучения, поглощенная объемом данного вещества, деленная на его массу, выраженная в серых единицах ($\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$). Для оценки биологического действия при хроническом облучении человека в малых дозах служит величина *эквивалентной дозы*. Эквивалентная доза $H_{T,R}$, представляет собой произведение поглощенной дозы $D_{T,R}$ в органе или ткани T , умноженной на соответствующий взвешивающий коэффициент W_R (коэффициент качества) данного вида излучения. Единицей измерения этой величины является зиверт (Зв), а ее значение вычисляется по формуле [37 – 41, 43]:

$$H_{T,R} = W_R \times D_{T,R}, \quad (2.1)$$


Значения W_R для различных видов ионизирующего излучения приведены в табл. 2.1. При воздействии разных видов ИИ с различными весовыми коэффициентами W_R эквивалентная доза определяется суммой эквивалентных доз для разных видов ИИ.

Таблица 2.1. Взвешивающие коэффициенты W_R для отдельных видов излучения [37]	
Вид ионизирующего излучения	Взвешивающий коэффициент W_R
Фотоны любых энергий	1
Электроны и мюоны любых энергий	1
Нейтроны с энергией:	
менее 10 кэВ	5
от 10 до 100 кэВ	10
от 100 кэВ до 2 МэВ	20
от 2 до 20 МэВ	10
более 20 МэВ	5
Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	5
Альфа-частицы, осколки деления, тяжелые ядра	20
Примечание. Все значения относятся к излучению, падающему на тело, а в случае внутреннего облучения – испускаемому при ядерном превращении.	

Воздействие ИИ на биологический объект характеризуется *эффективной дозой* (H_E), величина которой используется как мера риска возникновения отдаленных последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов и тканей с учетом их радиочувствительности [38]. Она представляет сумму произведений эквивалентной дозы H_T в органах или тканях на соответствующие взвешивающие коэффициенты W_T :

$$H_E = \sum_T W_T \times H_T \quad (2.2)$$

где H_T – эквивалентная доза в T - органе или ткани; W_T – весовой коэффициент для органа или ткани T (см. табл. 2.1, и рис. 2.1), который представляет собой отношение стохастического риска смерти в результате облучения органа или ткани T к риску смерти от равномерного облучения организма теми же эквивалентными дозами (см. рис. 2.1). Таким образом, W_T определяет весовой вклад данного органа или ткани в риск неблагоприятных последствий для организма при равномерном облучении, при общей сумме вкладов каждого из них равной единице. Единицей измерения эффективной эквивалентной дозы, является (Зв).



Орган или ткань	$R_T, 10^{-2} 1/(\text{чел-Зв})$	$w_T = R_T / \sum_T R_T$
Красный костный мозг	0,20	0,12
Костная ткань	0,05	0,03
Щитовидная железа	0,05	0,03
Молочная железа	0,25	0,15
Легкие	0,20	0,12
Гонады	0,40	0,25
Все другие органы, из них на каждый орган	0,50 0,10	0,30 0,06
Организм в целом	1,65	1,00

Рис. 2.1. Взвешивающие факторы W_T и риск смерти R_T от злокачественных опухолей и наследственных дефектов (у первых двух поколений облученных лиц) в результате облучения на 1 человека при эквивалентной дозе 1 Зв для задач радиационной защиты

$$\sum_T W_T = 1. \quad (2.3)$$

Как показали исследования результатов воздействия ИИ на животных и человека, эффекты воздействия при облучении малыми дозами определяются лишь

отдаленными генетическими и соматическими последствиями. При этом соматические последствия выявлялись непосредственно у облученной группы людей, а генетические — в последующих поколениях. Особенность отдаленных последствий состоит в том, что они носят статистический характер и могут быть обнаружены лишь статистическими методами на уровне популяций, поскольку интересующий эффект воздействия определяется не только величиной индивидуальной дозы, но и числом облученных лиц. По этой причине и возникает целесообразность рассмотрения коллективной дозы S , измеряемой в *человеко-зивертах* (чел-Зв), которая определяется выражением [38]:

$$S = N_0 \int_0^{\infty} f(H) H dH, \quad (2.4)$$

где N_0 — полное число облучаемых лиц; $f(H)$ — статистическая плотность распределения эффективной эквивалентной дозы H среди облучаемых лиц.

Значение прогнозируемой эффективной дозы (ожидаемой дозы) используется для оценки эффективной дозы внутреннего облучения. Она представляет собой сумму произведений ожидаемой эквивалентной дозы в органах и тканях на соответствующие весовые коэффициенты и используется как мера риска отдаленных последствий внутреннего облучения всего организма человека, его органов и тканей, принимая учет их радиочувствительности (стохастические эффекты). Зиверт (Зв) — это единица расчетной эффективной дозы. ОБЭ-взвешенная доза, это доза, которая представляет собой произведение дозы органа и коэффициента облучения ОБЭ, является мерой детерминированного эффекта, вызванного внешним облучением на орган. Единицей измерения является Грэй-эквивалент (Гр-экв). ОБЭ-взвешенная доза представляет собой новую дозиметрическую величину, предназначенную для характеристики аварийного облучения и ее внедрения в практику, и является результатом анализа последствий радиационных аварий, полученных в результате аналитических исследований реакций организма на воздействие ИИ.

В современную систему дозиметрических величин введено понятие эквидозиметрических величин, которые служат для оценки воздействия ионизирующего излучения конкретно на человека. По своему назначению они разделены на три группы: величины для оценки рисков возникновения и развития эффектов от излучения (поглощенная доза в органе или ткани, эквивалентная доза в органе или ткани и ОБЭ-взвешенная доза); величины для установления требований к состоянию радиационной безопасности о вероятном возникновении эффектов (эффективная доза); величины для соответствия требованиям к радиационной безопасности (эквивалент дозы, амбиентный и индивидуальный эквиваленты дозы и ожидаемая эффективная доза внутреннего облучения).

Большое значение, наряду с экспериментальными данными о действии радиации на различные органы человека, имеют данные, описывающие свойства воздействия радиации на материал клеточной биомассы. Понимание этих характеристик и процессов, лежащих в основе их формирования, позволяет объяснить, почему определенные виды животных более или менее чувствительны к воздействию радиации (табл. 2.2), а также дает возможность выработать организму защитный механизм, позволяющий ему выдерживать высокие дозы радиации без вреда для здоровья [42]. Следует отметить, что в технической литературе, освещающей проблемы радиационной безопасности, этим вопросам уделяется гораздо меньше внимания, возможно, по той причине, что они скорее относятся к области радиобиологии, чем к техническим проблемам.

Таблица 2.2. Летальные дозы облучения для различных видов животных (по литературным данным) и человека [43]

Вид животного или человек	Минимальная смертельная доза в Зв	Доза 50 % выживаемости в Зв	Минимальная абсолютная смертельная доза в Зв
Улитки	–	2000	–
Амебы (простейшие)	1000 – 3000	1000	–
Насекомые	10 – 100	–	–
Дрозофилы	–	8	–
Птицы, рыбы	8 – 20	–	–
Кролики	8	8,5 – 11	14
Хомяки	–	7 – 8,8	–
Крысы	2,5 – 3,0	4,5 – 6	6,5 – 8
Обезьяны	–	5 – 6	–
Мыши	2	3,5 – 4	5,5 – 8
Собаки	2,75	3,25 – 4	6
Морские свинки	–	2 – 4	4
Козы	–	3,5	–

Свиньи	–	4 – 5	–
Человек	6	3 – 5	6 – 7

Однако следует остановиться на более глубоком биологическом анализе реакции человеческого организма на ИИ в связи с результатами воздействия ИИ на человека и на окружающую среду в рамках разрешения военных конфликтов путем применения ядерных бомб, первая из которых была использована США в Хиросиме, а вторая, вскоре после этого, — в Нагасаки (в Японии) [42, 44]. Результаты интенсивного воздействия на человека ИИ привели к развитию рака, о чем свидетельствует опыт женщин, переживших ядерные бомбардировки Хиросимы и Нага

саки, у которых среди других заболеваний резко возросла заболеваемость крови и раком молочной железы.

Дополнительные данные [44, 45] показали, что воздействие ионизирующего излучения в детстве может повысить риск развития рака у детей по сравнению со взрослыми, демонстрируя большую восприимчивость детей к радиационному воздействию и образованию опухолей. Это было обнаружено в результате исследований, проведенных в Чернобыле группой ученых [46], которые изучали проблему рака щитовидной железы у взрослых и детей, подвергшихся воздействию высоких уровней радиации щитовидной железы (более 1 Гр). Далее более подробно рассмотрим биологические эффекты, которые возникают в организме, подвергающемся воздействию ионизирующего излучения при его прохождении через биологическую среду.

2.1. Биологические эффекты воздействия ионизирующих излучений на окружающую среду и организм человека

Доза ионизирующего излучения, поглощенная в биологической среде, инициирует сложный процесс различных (физико-химических реакций, [38, 42]). Во-первых, это физическая активность с передачей энергии от ионизирующих частиц к атомам и молекулам окружающих тканей, процесс, который занимает около 10^{-13} с. Далее следуют физико-химические процессы, такие как передача внутримолекулярной энергии, возбуждение и ионизация атомов с длительностью

около 10^{-10} с. Затем происходят химические процессы и в этот момент возникает первичное повреждение биологических структур, которое происходит с продолжительностью порядка 10^{-6} с. Далее следуют биологические процессы. На этом этапе поврежденные органические структуры могут быть восстановлены или необратимо повреждены. Возникающее повреждение может привести к гибели клеток, которая может происходить в течение периодов от нескольких секунд до нескольких лет. Все эти процессы приводят к окончательному радиобиологическому воздействию радиации на организм человека [42, 45, 46].

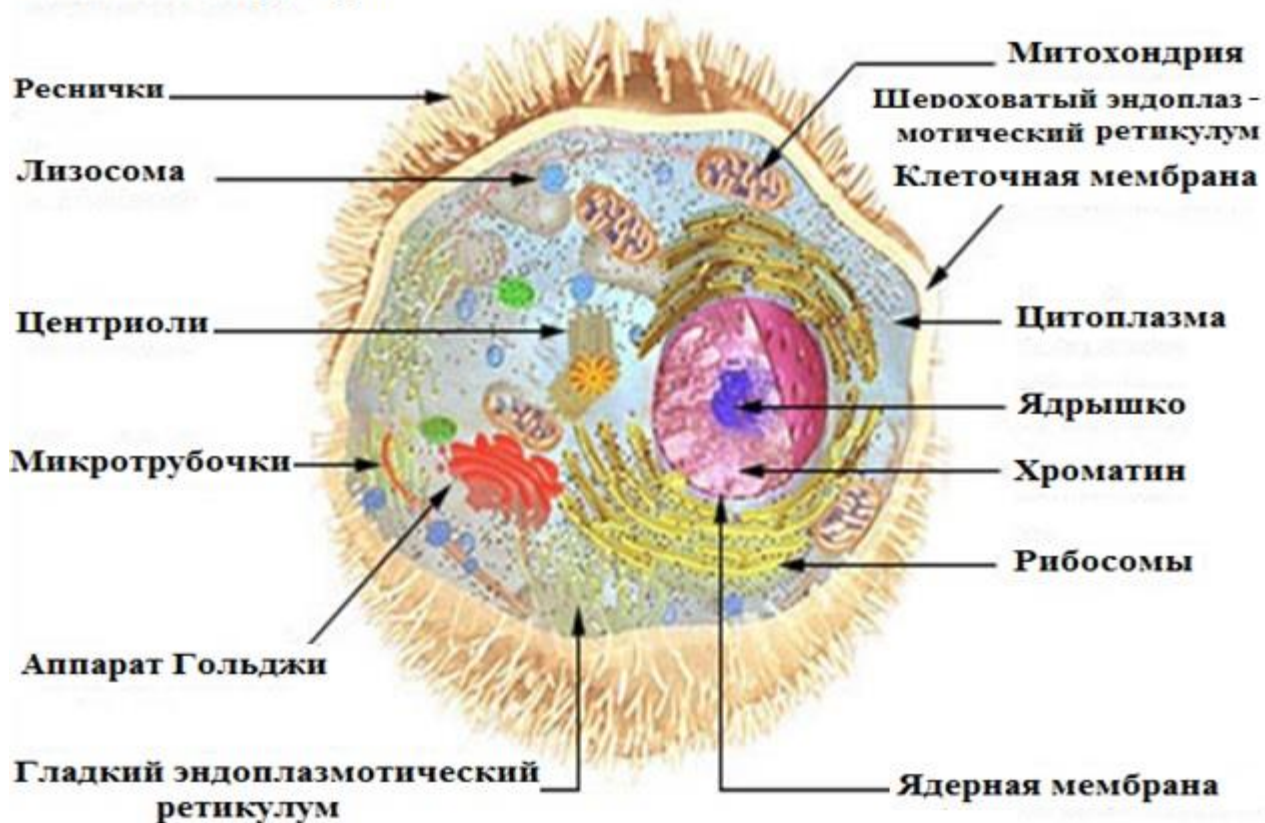
Вскоре после открытия биологического действия ионизирующей радиации было установлено, что любой живой объект при определенной дозе радиации погибает. Поглощенные дозы фотонного излучения D , приводящие к гибели различных объекты в облученной популяции варьируются в очень широких пределах. Для человека доза фотонного излучения, вызывающая 50%-ную вероятность смерти, составляет 4,5 Гр (см. табл. 2.2).

Каждый биологический вид имеет свою радиочувствительность. Степень радиочувствительности может заметно изменяться в пределах одного вида, а для конкретной особи зависит также от возраста и пола; даже в пределах одного организма разные органы сильно различаются по радиочувствительности, как это видно из рис. 2.1.

Общий вид клетки человека представлен на рис. 2.2. Нормальный размер клеток млекопитающих составляет от 10 до 30 мкм. Цитоплазма – это среда, содержащая воду, соли и органические соединения. Он содержит множество органелл и является рабочей частью клетки. Ядро содержит ДНК, которая является генетическим материалом клетки, а также большое количество белка в структурах, называемых хромосомами. Клеточная мембрана представляет собой тонкую пленку, покрывающую всю клетку и являющуюся средой, посредством которой происходит обмен веществ [12]. Внутри клетки тысячи молекул ферментов контролируют взаимодействие различных химических веществ. Каждый процесс внутри клетки имеет фиксированную функциональную структуру. Как упоминалось ранее, в ядре

клетки находятся гигантские биополимеры (ДНК), которые концентрируются, по крайней мере, во время фазы деления. Две цепи ДНК связаны между собой чередующимися молекулами, состоящими из четырех разных типов оснований по точному шаблону. ДНК представляет собой генетическую информацию организма и содержится в структурных компонентах клетки, называемых хромосомами (от греческого *chroma*, что означает цвет, и *soma*, что означает тело). На хромосоме ген располагается в линейном порядке (от греч. *Genos* - род, происхождение). Гены -

Клеточная структура



это единицы наследственного материала, ответственные за формирование любого элементарного признака в организме. Совокупность генов, содержащихся в одном наборе хромосом данного организма, называется геномом.

Клетки — это единицы живого, мельчайшие структуры, выполняющие функции, которые и определяют состояние, именуемое жизнью [13]. К таким функциям относятся: поглощение веществ и энергии, использование энергии для построения сложных структур из более простых веществ, рост и размножение. В

среднем в организме человека насчитывается $5 \cdot 10^{13}$ клеток, из которых до 20 % клеток организ-

ма интенсивно делятся. Кишечник, кожа, роговица, половые железы и костный мозг имеют высокую скорость деления клеток. Но большинство органов - печень, легкие, сердце, кровеносные артерии, кости и железы внутренней секреции - состоят из клеток, которые редко делятся. Клетки нервной системы практически никогда не делятся. Эти органы называют фиксированными системами [13]. Воздействие ионизирующего излучения на клетку может происходить непосредственно, например, за счет взаимодействия γ - или β - излучения с атомами или молекулами хромосом, либо опосредованно за счет радиолиза воды или других химических веществ, содержащихся в цитоплазме клетки.

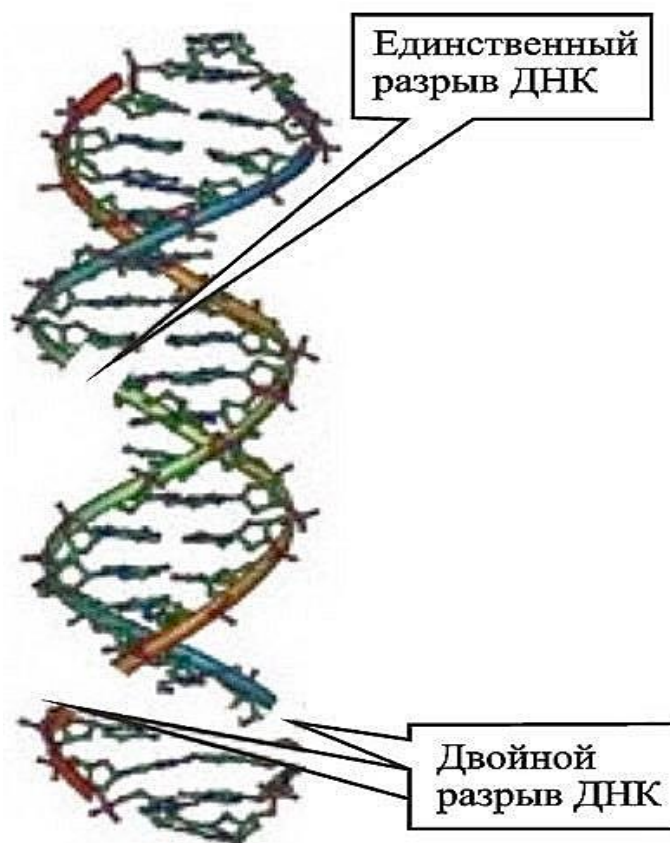


Рис. 2.3. Виды разрывов ДНК при воздействии ионизирующего излучения [13]

участие в создании неполноценных молекул, создавая, таким образом, очаг поражения, кото-

В первом случае, при невысокой плотности ИИ, ДНК может восстановиться, если разрыв связи произошел только на одной нити, если же эффект разрыва связи произошел на двух нитях ДНК, то она не подлежит восстановлению (рис. 2.3), но в дальнейшем может принимать

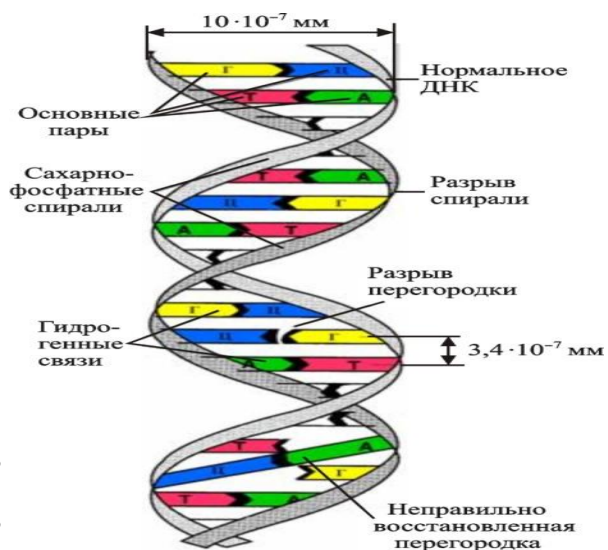


Рис. 2.4. Результат воздействия ионизирующего излучения на ДНК [13]

рый может привести в дальнейшем к негативным последствиям. На рис. 2.3, 2.4 приведены результаты воздействия ионизирующего излучения на ДНК. После прохождения излучения связи могут быть восстановлены, но неправильно (рис. 2.5). Нити ДНК расщепляются во время деления, и каждая цепь синтезируется другой цепью - как будто на матрице - с сохранением последовательности оснований. В цитоплазме имеется множество дублирующих структур, которые отвечают за клеточную энергию, синтез белка, транспортировку питательных веществ и другие процессы. В этом отличие от ядра, которое является домом для уникальных молекул ДНК. В активно делящихся клетках период между двумя клеточными делениями занимает от 12 до 48 часов. При этом сам процесс деления занимает не более часа. Пока клетка не делится, ее системы не воспринимают факт нарушений, возникших в результате действия ионизирующего излучения (или некоторых химических соединений).

Напротив, фрагменты или сломанные хромосомы образуются, когда происходит разрыв хромосомы в месте повреждения ДНК во время деления. Когда вновь созданные клетки теряют часть своей ДНК, они не могут синтезировать необходимые молекулы и могут погибнуть. Быстро делящиеся клетки более



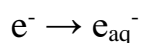
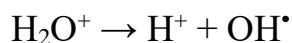
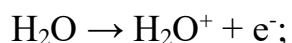
Рис. 2.5*. Результат непосредственного и опосредованного воздействия ИИ на ДНК

чувствительны к ионизирующему излучению, но организм может одновременно восстанавливать часть повреждений, поскольку у него есть система восстановления. Первый пример - аномалии одиночных разрывов цепей хромосом. Такие разрывы редко «заживают», как показано на рис. 2.3, рис. 2.4 и рис. 2.5*. Прямое и

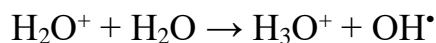
* Труды Ивашкина В.Т., Рапопорта С.И., Соухами Р., Трахтенберга А.И., М.А. Bidus, W.R. Brewster, C.S. Chu, W. T. Creasman, R.S. Mannel, J. L. Walker, R.E. Zuna. https://meduniver.com/Medical/onkologia/deistvie_radiacii.html

косвенное воздействие ионизирующего излучения на клеточную ДНК обычно наблюдается с частицами, которые генерируют высокую плотность ионизации во время путешествия или при высоких мощностях дозы. Например, две стадии высокодозного облучения, разделенные примерно четырьмя часами, увеличивают выживаемость клеток млекопитающих в два-три раза. Для оценки биологического механизма воздействия ионизирующего излучения на биологические ткани можно использовать несколько актов. Энергия ионизирующего излучения, проходящего через биологическую ткань, в первом (физическом акте) преобразуется в атомы и молекулы. В результате создаются ионы и возбужденные молекулы. Следующий акт определяется химическим этапом поражения клетки. В основе первичных радиационно-химических изменений молекул могут лежать два механизма: (1) прямое действие, когда данная молекула испытывает изменения за счет ионизации или возбуждения непосредственно при взаимодействии с излучением; (2) косвенное действие, когда молекула непосредственно не поглощает энергию ионизирующего излучения, а получает ее путем передачи от другой молекулы. Поскольку 60-70 % массы биологической ткани составляет вода, рассмотрим различие между прямым и косвенным действием излучения на примере облучения воды [13, 42, 45, 46].

Начальные процессы радиолиза, приводящие к образованию радикалов H^* и OH^* , представлены на схеме:



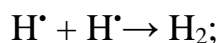
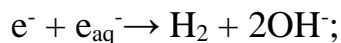
Ионизированная молекула воды реагирует с другой нейтральной молекулой воды, в результате чего образуется высокореактивный радикал гидроксила OH^* :



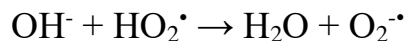
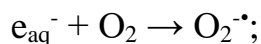
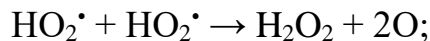
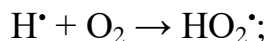
Вырванный электрон также очень быстро передает энергию окружающим молекулам воды, в результате чего возникает сильно возбужденная молекула воды H_2O^* , которая диссоциирует с образованием двух радикалов H^* и OH^* :



Свободные радикалы содержат неспаренные электроны и отличаются чрезвычайно высокой реакционной способностью. Время их жизни в воде не более 10^{-5} с. За это время они либо рекомбинируют друг с другом, либо реагируют с субстратом:



В присутствии растворенного в воде кислорода образуются и другие продукты радиолиза: свободный радикал гидроперекиси HO_2^\bullet , перекись водорода H_2O_2 , атомарный кислород и радикал кислорода O_2^\bullet , который называется супероксидным радикалом:



Супероксидный и гидропероксидный радикалы могут наносить очень серьезные повреждения биологически важным молекулам. В клетке организма ситуация значительно более сложная, чем при облучении воды, особенно если поглощающим веществом являются крупные и многокомпонентные биологические молекулы. В этом случае образуются органические радикалы D^\bullet , отличающиеся также крайне высокой реакционной способностью. Располагая большим количеством энергии, они легко могут привести к разрыву химических связей. Именно этот процесс и происходит чаще всего в промежутке между образованием ионных пар и формированием конечных химических продуктов. Кроме того, наличие кислорода в биологическом объекте значительно усиливает биологический эффект воздействия ИИ, поскольку присутствие в нем кислорода сильно увеличивает выход многих радиационно-химических реакций. При этом органические радикалы, возникающие при воздействии ионизирующего излучения на молекулы белков, радикалы воды и других веществ также отличаются выраженной способностью соединяться с атомами кислорода.

В облученной системе новые молекулы создаются за счет чрезвычайно реакционноспособного продукта, который образуется при соединении свободного радикала и кислорода. Свободные радикалы и оксиданты, образующиеся при радиолизе воды, благодаря своей высокой химической активности вступают в химическую реакцию с белковыми молекулами, ферментами и другими структурными компонентами биологической ткани, изменяя обменные процессы организма. Это приводит к нарушению обменных процессов, подавлению активности ферментных систем, замедлению или остановке роста тканей, появлению новых химических веществ, известных как токсины, не свойственных организму. Это приводит к прерыванию основных операций каждой системы.

В свете этого исследования воздействия радиации на клетки показали, что свободные радикалы часто образуются после ионизации и что эти радикалы очень эффективно взаимодействуют с биологическими молекулами, включая высокочувствительный генетический материал. Эти уязвимые участки ядра называются хромосомами - двухцепочечными структурами, состоящими из ДНК и белка, количество которых варьируется у разных организмов и причиняет наибольший ущерб при делении клеток. На основании последнего можно сделать вывод, что вредное воздействие радиации, возникающее при ее косвенном воздействии, более распространено, чем при прямом воздействии, прежде всего для излучений с низкой удельной ионизацией [47, 48].

2.2. Хроническая доза (долгосрочная доза низкого уровня)

Хроническая доза (долгосрочная доза низкого уровня) представляющая собой относительно небольшую дозу радиации, полученную в течение длительного времени, в результате радиационного воздействия, известна как хроническое облучение. Человеческий организм на протяжении тысячелетий человеческой эволюции эволюционировал, чтобы выдерживать хроническую дозу, количество которой сильно варьируется в зависимости от географического местоположения человека. Эта доза складывается за счет космического излучения, величина которого увеличивается с ростом высоты (на равнине $\sim 0,01-0,015$ мкЗв/ч,

в горах больше: 0,020-0,025 мкЗв/ч) и специфике области обитания человека, определяемой, например, выходом на поверхность земли руд, содержащих радиоактивные изотопы. Местные жители называют эти районы «плохими местами», и предпочитают в таких местах не селиться. Согласно предыдущим сообщениям, возможность устранения повреждений биологического материала, подвергнувшегося радиационному воздействию, связана со специфической адаптацией населения к более высокому радиационному фону в высокогорье. Однако способность организма делать это резко снижается при длительном воздействии радиации у ученых, работающих с радиацией или радиоактивными материалами, радиологов или шахтеров. В зависимости от количества полученной дозы радиации это может привести к снижению продолжительности жизни.

Воздействие низких уровней радиации трудно обнаружить, поскольку на этих уровнях не возникают детерминированные эффекты, в то время как биологические эффекты высоких уровней радиационного воздействия (~ 4 Гр) в целом хорошо изучены. Согласно исследованиям, проведенным на людях, получивших высокие дозы, несомненно, существует связь между радиационным воздействием и некоторыми долгосрочными проблемами. Эти последствия включают некоторые генетические повреждения и рак различных органов. Согласно этим оценкам, существует корреляция между вероятностью заболевания при низких дозах радиации и частотой заболеваний при высоких дозах. Учитывая, что вероятность заболевания возрастает с увеличением дозовой нагрузки, ожидается, что аналогичная зависимость будет существовать и при низких дозах; то есть потенциальное воздействие лучевых заболеваний при низких дозах будет не пороговым, а линейным.

Соматическое воздействие радиации развивается у людей с повышенной чувствительностью к ИИ и состоит в изменениях в клетках организма, которые не передаются будущим поколениям. В зависимости от размера мощности дозы и времени, в течение которого человек принимает дозу, эти эффекты могут произойти сразу или позже. Например, в Индии почва Кералы содержит минерал монацит,

содержащий радиоактивный элемент торий. Присутствие этого материала значительно увеличивает радиационный фон, делая жителей Кералы в пять-десять раз более уязвимыми к радиации, чем население других областей. В таких условиях радиационного воздействия в результате накопления радионуклидов в органах тела вполне очевидны отсроченные соматические последствия, выражающиеся в виде рака или врожденных аномалий [44 - 46].

2.3. Радиационный ущерб репродуктивным клеткам

Повреждение клеток является первой стадией радиационного повреждения. ДНК является наиболее важным из ключевых компонентов клетки, на который это может повлиять. Согласно упомянутым выше результатам исследований, канцерогенез, мутация и гибель клеток вызваны повреждением ДНК [47, 48]. Дозу, при которой радиация может быть смертельной, невозможно предсказать, поскольку радиационное воздействие варьируется от человека к человеку. Эксперты предсказывают, что в течение тридцати дней после лечения всего тела дозой 3500–5000 мГр в течение нескольких минут или часов 50% пациентов умрут (см. Таб. 2.2). Несмотря на это, последствия для здоровья будут различаться в зависимости от того, насколько здоров человек до заражения и какую медицинскую помощь он получает. Если воздействие ИИ ограничивается только частями тела, например, руками, то такое воздействие, скорее всего, будет более локализованным и приведет к ожогам кожи.

К радиационному эффекту могут привести как смертельные, так и несмертельные мутации. Нефатальные мутации могут привести к раку или беспорядочной пролиферации клеток, но известно, что летальные мутации вызывают гибель клеток. Дозы радиации, с которыми невозможно справиться, могут повредить репродуктивные органы и создать гаметы, несущие опасные изменения ДНК, которые передаются плоду. Следовательно, генетическая система хромосом нарушается из-за разрушения или распада молекулярных структур внутри гамет, вызванных радиоактивным загрязнением окружающей среды. Исследуя специфику этой процедуры, было обнаружено, что развивающиеся

клетки, подвергшиеся воздействию ионизирующего излучения, имеют дефекты, препятствующие их делению и пролиферации. Эти клетки могут время от времени продолжать расти, пока не достигнут огромных размеров и в конечном итоге не погибнут. Это связано с тем, что их нерегулярный размер делает их неэффективными, а их неодинаковое генетическое воздействие может привести к гибели эмбрионов, смерти младенцев или оставить у них аномалии. Генетические воздействия, связанные с радиацией, все еще можно обнаружить у выживших в Хиросиме и Нагасаки более 60 лет спустя, у их потомков и внуков.

2.4. Внутриутробное облучение и его влияние на нерожденного ребенка

Радиационное облучение плода, пока он еще находится в утробе матери, называется эмбриональным облучением, как указано в рекомендации МАГАТЭ [47, 48]. От зиготы (Зигота - клетка, образующаяся в результате слияния мужской и женской гамет; оплодотворённое яйцо) до плода эти эффекты могут произойти в любой момент эмбрионального развития. Они могут включать рак, умственную отсталость, отклонения в развитии и смертельные последствия. Детерминированные эффекты, которые могли возникнуть на протяжении эмбрионального развития, особенно во время создания органов, могут привести к первым трем. В результате после того, как в Хиросиме и Нагасаки у некоторых младенцев, подвергшихся внутриутробному воздействию, были обнаружены серьезные умственные нарушения, появились доказательства воздействия на рост и развитие мозга. Кроме того, согласно данным исследований, проведенных в нескольких деревнях Раджастана, расположенных недалеко от атомной электростанции Кота, значительная часть детей рождалась с физическими уродствами. Кроме того, в населенных пунктах, удаленных от упомянутой АЭС, детей с физическими уродствами рождалось в несколько раз меньше. Исследования подтвердили, что причиной этого являются радиоактивные материалы, выброшенные в окружающую среду с АЭС [48, 49].

Генетические последствия, передаваемые из поколения в поколение, обычно более серьезны. Это проявляется у потомков жертв атомной бомбардировки и у выживших в Хиросиме и Нагасаки, которые продолжают страдать от генетических

аномалий, связанных с радиацией. По данным Комиссии по изучению причин атомной бомбы, у детей, подвергшихся воздействию ионизирующей радиации в утробе матери во время взрыва ядерной бомбы, наблюдался более высокий уровень заболеваемости лейкемией, более медленный физический рост и умственная отсталость. Эмбрион или плод подвергаются воздействию радиоактивного материала, передаваемого матерью через пищу и питье (внутреннее облучение) или непосредственно в результате внешнего облучения. Поскольку плод имеет защиту в матке, его доза облучения, как правило, ниже, чем доза матери при большинстве радиационных воздействий. Тем не менее, эмбрион и плод особенно чувствительны к радиации, и последствия воздействия на здоровье могут быть серьезными, даже при дозах облучения, меньших, чем те, которые непосредственно влияют на мать. Такие эффекты могут включать задержку роста, пороки развития, нарушение функции мозга и рак [47, 48].

На рис. 2.6 приведены основные пути дозового облучения эмбриона. Развитие млекопитающих в утробе матери происходит примерно в три стадии.

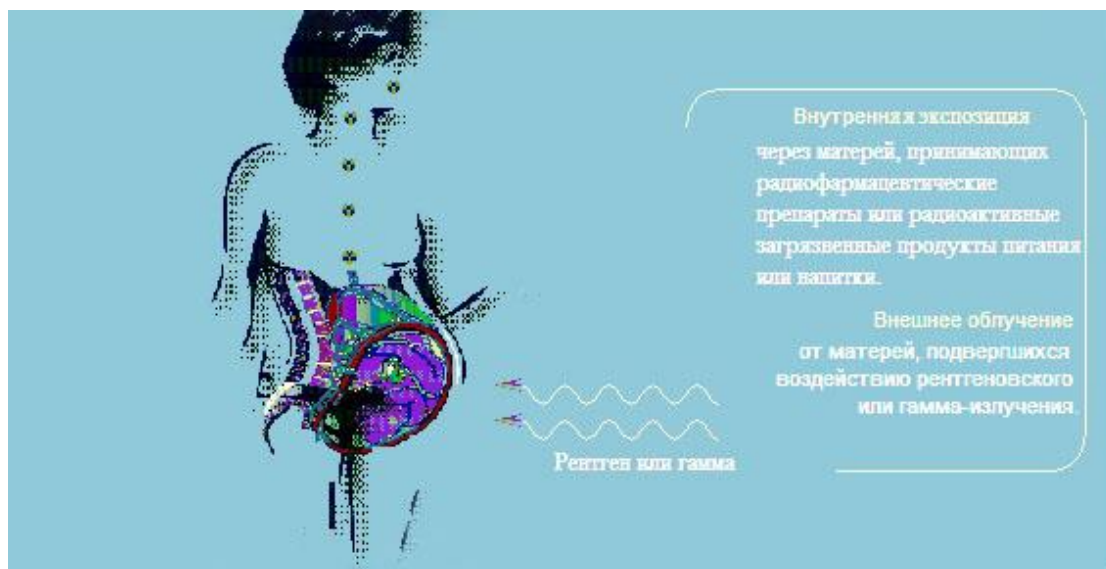


Рис. 2.6. Особенности радиочувствительных органов у детей [46]

Таблица 2.3. Различные этапы и возможные негативные эффекты воздействия ИИИ зародыша беременных женщин	
Стадия беременности (дни)	Возможные последствия
1 – 9	Смерть зародыша, скорее всего, с небольшой вероятностью порока развития
10 – 12	Снижение летального эффекта с небольшой вероятностью порока развития
13 – 56	Производство врожденных пороков развития и задержки роста
57 – 112	Экстремальная умственная отсталость (время наиболее серьезного воздействия на ЦНС)
113– 175	Менее частое влияние на ЦНС
После 175	Очень низкая частота эффектов ЦНС (ни один из зарегистрированных случаев тяжелой задержки)

Как известно, радиация способна убить эмбрион в матке на первой стадии, которая длится от зачатия до момента, когда он осядет на стенке матки и охватывает первые две недели беременности у женщин. Трудно изучить, что происходит на этом этапе; однако информация, полученная в основном из экспериментов на животных, подтверждает фатальное воздействие на ранний эмбрион доз радиации, превышающих определенные пороговые значения. Наибольший риск на следующем этапе, который длится со второй по восьмую неделю жизни человека, заключается в том, что радиация может повредить развивающиеся органы, что может привести к смерти, например, во время родов.

После восьмой недели, когда начинается третий и последний этап беременности, центральная нервная система подвергается наибольшему вреду. Понимание влияния радиационного воздействия на развивающийся мозг плода значительно продвинулось вперед. Например, тридцать из примерно 1600 выживших после атомной бомбы, подвергшихся воздействию дозы в один Гр до рождения, страдали от серьезных умственных нарушений. Различные стадии и возможные эффекты приведены в табл. 2.3. Кроме того, воздействие может напрямую повредить эмбрион или плод, уже развивающийся в утробе матери. Поэтому важно различать радиационное облучение как взрослых, так и детей, эмбрионов и плодов. Учитывая актуальность этих проблем, НКДАР ООН провел комплексные исследования

влияния ИИ как на здоровье матери, так и наследственное влияние эмбрионов в этих группах [47, 48].

На здоровье человека влияет множество физических факторов, а последствия радиационного воздействия на детей и взрослых различаются из-за изменений в их анатомии и физиологии. Доза облучения внутренних органов у детей также будет выше, чем у взрослых при том же внешнем облучении, из-за их меньшего размера и отсутствия изолирующей ткани. Кроме того, дети могут подвергаться более высоким дозовым нагрузкам радионуклидов, отложившихся на подстилающей поверхности, из-за их меньшего размера, чем взрослые [47, 48]. Что касается внутреннего облучения, то из-за меньших размеров и объема детей, когда их органы расположены ближе друг к другу, концентрация радионуклидов в одном органе влияет на другие органы в большей степени, чем это было бы у взрослых.

Дети получают дозу радиации от йода-131 на щитовидную железу, почти в девять раз превышающую дозу облучения взрослых при попадании в организм через дыхательную систему [47, 48].

Исследования чернобыльской трагедии установили связь между йодом-131, который больше всего сконцентрирован в щитовидной железе, и раком щитовидной железы. По данным эпидемиологических исследований, риск развития лейкемии у молодых людей в возрасте до 20 лет почти вдвое выше, чем у взрослых после такого же воздействия. Кроме того, дети в возрасте до десяти лет особенно уязвимы к последствиям воздействия ИИ.

Согласно различным другим исследованиям, дети имеют гораздо более высокий риск умереть от лейкемии, чем взрослые. По данным дополнительных исследований, у женщин в возрасте до 20 лет риск развития рака молочной железы примерно в два раза выше, чем у взрослых женщин (см. Рис. 2.7).

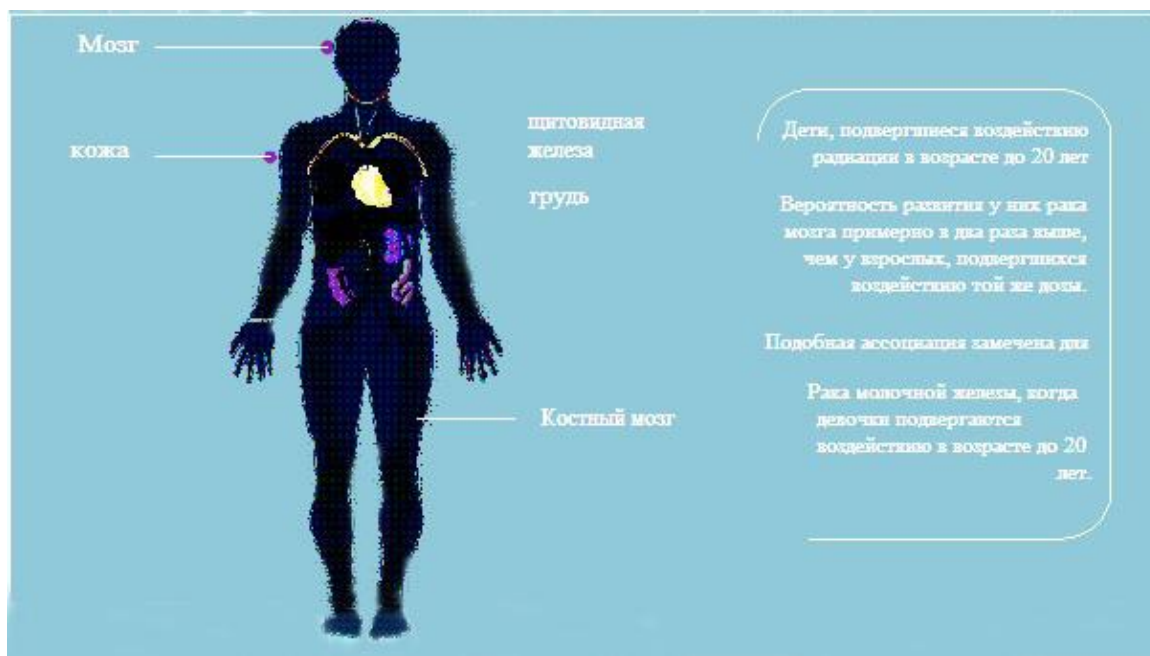


Рис. 2.7. Особенности радиочувствительных органов у детей [46]

Согласно научной информации, оцененной в докладе НКДАР ООН, спектр онкологических заболеваний у детей шире, чем у взрослых, и зависит от типа опухоли, возраста и пола ребенка [46, 47].

Следует отметить, что существуют индивидуальные различия в радиочувствительности человека, которая является основным фактором онкологических заболеваний и катализатором развития ряда радиационно-индуцированных опухолей [42]. Исследования, изучающие различия в радиочувствительности между взрослыми и педиатрическими популяциями, показали, что дети более уязвимы к лейкемии и злокачественным новообразованиям щитовидной железы, головного мозга, кожи и молочной железы [45]. Из предыдущего исследования (см. Рис. 2.7) очевидно, что двумя основными рисками для здоровья, связанными с воздействием ИИ, являются генетическое воздействие и рак. Их возникновение может быть более вероятным, чем генетические изменения в сформировавшемся организме. Генетические эффекты могут включать мертворождение, врожденные аномалии, снижение массы тела при рождении, младенческую и детскую смертность.

Это результаты мутации в клетках людей, подвергшихся воздействию ИИ,

которые передаются их потомству. Эти эффекты могут проявиться в первичной семье, если поврежденные гены являются доминирующими, или могут появиться во многих поколениях позже, если гены рецессивны.

2.5. Уменьшение степени воздействия ионизирующего излучения на детей

Линейная беспороговая модель была предложена научными консенсусными группами и другими регулирующими органами для использования при создании стандартов для снижения риска рака, связанного с воздействием низких доз ИИ [50]. В руководящих принципах подчеркивается важность использования принципа ALARA для снижения количества ИИ, оказывающего воздействие на детей, группу населения, которая более радиочувствительна, чем другие. Растущее использование низкодозных технологий лучевой диагностики, таких как компьютерная томография (КТ), которая генерирует дозу 30–90 мЗв за 2–3 сканирования, сделало этот подход более важным. Эта доза сравнима с низкими уровнями радиационного воздействия (5–150 мЗв), которым подверглись некоторые из 25 000 человек, переживших атомную бомбу в Хиросиме. Поэтому Бреннер Д.Ж. [51] утверждают, что увеличение риска развития рака, связанное с этими дозами, также позволяет предположить, что дозовая нагрузка на детские органы в результате КТ-исследований также может увеличивать риск развития рака с использованием линейной беспороговой модели возникновения рака при воздействии ИИ-излучения. в людях. Кроме того, при использовании диагностического оборудования авторы статьи [52] предупреждают, что молодые люди, подвергшиеся воздействию ИИ, рискуют заболеть раком.

2.6. Негативные последствия работы атомных электростанций

Возможность возникновения на АЭС различных аварийных ситуаций, которые могут привести к радиационным авариям или инцидентам, является первым из негативных происшествий при эксплуатации АЭС. Несчастные случаи могут иметь различную степень воздействия на здоровье персонала и населения, проживающего вокруг АЭС. Основной причиной радиационных аварий, учитывая объем инцидентов, произошедших в мире в период развития атомной промышленности и производства атомного оружия, является несовершенство технологий и

человеческий фактор, который может быть обусловлен различными причинами (физическая усталость, заболеванием, психологический срыв и т.д.).

Вторым по значимости негативным фактором, влияющим на негативные последствия эксплуатации АЭС, являются экологические проблемы, возникающие в результате радиационной аварии и последующего выброса радиоактивных материалов в окружающую среду, что приводит к радиоактивному загрязнению, устранение которого требует вмешательства значительной численности личного состава, оборудования и финансовых средств, включая как стоимость работ по ликвидации последствий радиационной аварии, так и стоимость жилья для людей на период их эвакуации с загрязненной территории и т.д. Авторы [53] показывают, что стоимость ликвидации последствий Чернобыля для СССР составила 700 миллиардов долларов, а стоимость ликвидации последствий Чернобыля на АЭС Фукусима-дайити в Японии в настоящее время составляет 180 миллиардов долларов.

Однако, как указывали авторы работы [49], ранее приведенные факторы, т.е. реальные радиационные аварии, не могли быть причиной радиоактивного загрязнения окружающей среды, вблизи города Кота штата Раджастан в Индии, поскольку подобных аварий просто не было. Но тем не менее, у населения, проживающих в близлежащих деревнях в Раджастане, были замечены болезни, симптомы которых четко указывали на заболевания, вызванные воздействием ионизирующего излучения. Медицинские наблюдения и анализ показали, что заболевания были действительно связаны с работой АЭС, расположенной в 65 км от города Кота в Индии и обусловлены радиоактивными выбросами с АЭС при ее штатной работе. По мнению авторов данной статьи, системы очистки выбросов АЭС Кота нуждались в модернизации, что требовало значительных финансовых затрат на смену оборудования и, таким образом, увеличивало стоимость электроэнергии даже при нормальных условиях эксплуатации, в чем руководство АЭС не было заинтересовано. Однако эти проблемы относятся к области социальных и внутриполитических проблем Индии, а не к специфике воздействия ИИ на биологические объекты, хотя в основе этих проблем лежит и человеческий фактор.

2.7. Методы и средства радиационного и экологического контроля на ядерных объектах

Цель радиационной защиты состоит в том, чтобы защитить людей и окружающую среду в достаточной степени, не ограничивая при этом необоснованно их способность заниматься позитивной деятельностью. В соответствии с уставом организации, это одна из мер, предпринимаемых Международной организацией труда (МОТ) для защиты сотрудников от болезней, заболеваний и несчастных случаев, связанных с их работой. Координация программ МОТ предоставляет правительствам, бизнесу и профсоюзам необходимые ресурсы для разработки и реализации инициатив, направленных на улучшение окружающей среды и условий труда [54, 55]. Они сотрудничают с другими международными организациями, такими как МАГАТЭ и Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ), а также с международными профессиональными организациями, такими как Международная ассоциация радиационной защиты (IRPA), Международная комиссия по радиологической защите (ICRP) и Международная комиссия по радиологической защите (МКРЗ) от неионизирующего излучения (ИКПНИР) [54, 55].

Одной из наиболее актуальных проблем атомной энергетики является повышение радиационной безопасности атомных электростанций и других предприятий атомной отрасли. Сюда входит выяснение того, как контролировать окружающую территорию, воздушные и водные бассейны, недра, население, проживающее вблизи АЭС, и другие задачи. Системы радиационного мониторинга окружающей среды используются для контроля уровня радиации в регионе с целью решения экологических проблем в зоне АЭС. Такие защитные системы, согласно тщательному анализу [55], состоят из автоматизированных узлов измерения данных и оборудования, обеспечивающих их работу, получение и обработку данных о контролируемых радиационных параметрах в зоне наблюдения, на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне, и в зоне контролируемого доступа к АС во всех режимах эксплуатации АС, включая проектные и запроектные аварии, а также состояние АС при выводе из эксплуатации энергоблоков.

Службы радиационного контроля АЭС, аккредитованные Федеральной служ-

бой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в Российской Федерации, осуществляют радиационный контроль на атомных электростанциях по модели Российской Федерации [11]. Радиационный контроль АЭС (объемный, частотный, контрольные точки, исполнители и регистрация результатов) организуется в соответствии с действующими нормативами, утвержденными региональным управлением ФМБА (Российского федерального медико-биологического агентства). Кроме того, независимый целенаправленный радиационный контроль пищевых продуктов местного производства и объектов окружающей среды осуществляется региональными управлениями ФМБА России. Компания «Росэнергоатом» постоянно проводит политику по созданию и дальнейшему развитию технологий оптимизации радиационной защиты атомных электростанций, основанных на международно признанных принципах радиационной безопасности. Информация о дозах облучения вносится в карточки учета персонала по индивидуальным дозам облучения и в электронные базы данных автоматизированной системы индивидуального дозиметрического контроля (АИДК), разработанной концерном «Росэнергоатом» [11]. Метод заключается в оценке индивидуальных доз облучения для групп персонала, населения, а также их численности, облучённых на минимально возможном уровне, с учётом экономических и социальных факторов и анализе условий их облучения с целью предупреждения подобных рецидивов в дальнейшем. Результаты публикуются в ежегодных отчетах о радиационной обстановке на объектах АЭС, а также в радиационных паспортах соответствующих организаций. Целью данной модели радиационного мониторинга является отслеживание и оценка изменений радиационной обстановки в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС, чтобы убедиться в отсутствии радиационных последствий для населения и окружающей среды. Кроме того, вокруг каждой атомной электростанции действует автоматизированная система радиационного контроля (АСКРО), гарантирующая непрерывный контроль интенсивности доз на территории АЭС [35, 36].

Согласно исследованию корейской модели [56], программа радиационного мониторинга окружающей среды страны разделена на две части: одна для ядерных объектов и одна для всей страны. КИНС управляет центральной измерительной лабораторией (ЦМЛ), где осуществляется национальный мониторинг, а также регио-

нальными станциями мониторинга (РМС) и региональными постами мониторинга (РМП) по всей стране [56]. Также ведется мониторинг ядерных систем 2 исследовательских реакторов и 4 атомных электростанций. Данные, собранные на RMS и RMP, а также на площадках ядерных реакторов, передаются в KINS через интегрированную сеть радиационного мониторинга окружающей среды (IERMN) для решения проблем радиационного воздействия в стране. Кроме того, федеральные агентства (например, USNRC) должны оценить потенциальное воздействие объекта на окружающую среду, прежде чем выдавать разрешение на строительство или лицензию на эксплуатацию атомной электростанции в Соединенных Штатах. Это делается для того, чтобы убедиться, что разрешение или лицензия соответствуют экологическим целям страны, изложенным в Федеральном законе о контроле за загрязнением воды и Законе о национальной экологической политике (NEPA) 1969 года. Чтобы получить данные для этой оценки, заявители должны предоставить отчет с подробным описанием потенциального воздействия завода и связанных с ним объектов на окружающую среду. Чтобы гарантировать постоянное соблюдение условий, изложенных в лицензии на установку, в ранее упомянутом законодательстве, после ввода завода в эксплуатацию необходимо подавать ежегодный экологический отчет [57 — 59]. В работе [59] авторы решили, что разработка и применение современных автоматизированных систем радиационного контроля состояния окружающей среды может обеспечить практическое решение вопроса обеспечения приемлемого качества окружающей среды (для здоровья и жизни населения) над антропогенными объектами.

После лесных пожаров в Чернобыльской зоне отчуждения, охватывающей Украину и Беларусь, в апреле Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) помогло спроектировать и закупить для Беларуси передвижную лабораторию, укомплектованную приборами и приборами для радиационного мониторинга воздуха и окружающей среды [60]. «Кропотливая работа специалистов МАГАТЭ и белорусских коллег позволила спроектировать и поставить хорошо оснащенную и функциональную мобильную лабораторию для поддержки Беларуси в оперативном реагировании на современные радиологические угрозы, связанные с лесными пожарами в Чернобыльской зоне

отчуждения», говорится в заявлении. Питера Сварзенски, исполняющего обязанности директора Экологических лабораторий МАГАТЭ [59, 60].

Мобильная лаборатория является внедорожной и служит рабочей станцией для бригады из 4 человек, работающей в полевых условиях. Мобильная лаборатория оснащена мобильным прибором для отбора проб воздуха, мобильным гамма-спектрометром и мобильным радиационным монитором для измерения проб окружающей среды [59, 60]. В состав мобильной лаборатории также входят комплект для отбора проб почвы и средства индивидуальной защиты (СИЗ). Мобильная лаборатория также оснащена навигационным и связным оборудованием и электрогенератором. Мобильная лаборатория включает в себя рабочее место с компьютером и другими инструментами. Мобильная лаборатория используется для анализа проб воздуха, взятых с мест лесных пожаров. Пробы воздуха необходимо проанализировать на определение активности радиоактивных изотопов цезия, стронция и трансурана. В 2018 году стартовал проект технического сотрудничества. Проект направлен на повышение профессиональных знаний и навыков научно-технического персонала Полесского государственного радиозэкологического заповедника, в частности, в области дозиметрии ингаляционного поступления радионуклидов. Проект также был направлен на поиск и приобретение подходящих инструментов и расходных материалов для радиационного мониторинга, отбора проб воздуха и почвы, обработки и измерения проб [60].

2.8. Выводы по второй главе

Таким образом, воздействие ионизирующего излучения на биологический организм может привести к повреждению клеток, которое в свою очередь может быть причиной онкологических заболеваний, генетических проблем, а также к негативным последствиям у развивающихся эмбрионов. Эти неблагоприятные воздействия могут возникнуть в результате острых или отсроченных последствий, а также прямых или косвенных процессов. Согласно результатам анализа, приведенным в работах [43, 46], ни один уровень воздействия не может быть представлен как полностью безопасный, и ни один уровень не является одинаково рискованным. Последствия атомных бомбардировок Хиросимы и Нагасаки показали, что воздействие ИИ вызывает у людей онкологические заболевания.

Исследования, проведенные в Хиросиме, предоставили данные о влиянии ИИ на развитие мозга младенцев, подвергшихся воздействию внутриутробно, а также о врожденных дефектах. В указанных исследованиях также подчеркивается о необходимости снижения доз облучения при компьютерной томографии, особенно для молодых пациентов.

Согласно исследованию, цель радиационной защиты - обеспечить уровень безопасности для людей, минимизируя при этом неблагоприятное воздействие ИИ, возникающее в результате использования радиационных технологий; другими словами, речь идет о максимально эффективном применении принципа ALARA. Учитывая негативное воздействие ионизирующей радиации и трудности полного исключения ее из экономической деятельности, необходимо внедрить эффективные системы радиационного контроля и мониторинга, такие как АСРК и АСКРО АЭС, которые необходимо использовать как для предотвращения развития радиационной аварии на АЭС (АСРК), так и для минимизации последствий радиационных аварий на этих объектах при выходе радиационных продуктов в окружающую среду (АСКРО АЭС).

Несмотря на свои преимущества, ядерная энергетика с момента своего создания столкнулась с серьезными проблемами. Главным барьером был страх перед радиацией, и этот страх только усилился после событий на Три-Майл-Айленде и Чернобыле, а также событий на Фукусиме [61]. Страх основан на убеждении, что атомная электростанция регулярно выбрасывает радиоактивные материалы, которые поражают близлежащее население и создают риск аварии. Этот страх привел к так называемому феномену «не на моем заднем дворе», когда многие общины отказываются разрешить строительство атомной электростанции в своем районе [61]. Чтобы решить эти проблемы и гарантировать, что эксплуатация атомной электростанции не повлияет на окружающую среду, строгий мониторинг и оценка радиологического воздействия проводятся до и во время эксплуатации в пределах нормативных ограничений [61]. Очень консервативная конструкция и эксплуатация электростанций в сочетании со строгим регулирующим надзором приводят к тому, что дозы облучения населения намного ниже, чем дозы от любого антропогенного источника радиационного облучения. Хотя АЭС считаются

безопасными в эксплуатации, на всех площадках предпринимаются усилия по дальнейшему ограничению доз, чтобы поддерживать их как можно более низкими, что также рекомендовано для ядерной энергетической программы Нигерии.

ГЛАВА 3. Радиационно-экологические аспекты строительства АЭС в Федеративной республике Нигерия

3.1. Современные технологии автоматизированных систем радиационно-экологического мониторинга окружающей среды на действующих атомных электростанциях

Развитие атомной энергетики и ядерных технологий привели к необходимости создания автоматизированных систем контроля радиационной обстановки. Первоначально эти системы представляли собой совокупность γ -датчиков, располагающихся вокруг ОИАЭ по розе ветров. По мере развития вычислительной техники системы значительно усложнились и стали играть заметную роль при строительстве АЭС и других ОИАЭ.

В настоящее время АСКРО (ARMS) - это комплекс дозиметрического оборудования, метеодатчиков и программного обеспечения для измерения дозовых нагрузок на людей и окружающую среду, состояния устойчивости атмосферы, а также обеспечения руководства АЭС результатами наблюдений и анализа радиационной обстановки на территории АЭС. В состав системы АСКРО входят станции контроля мощности дозы гамма-излучения на промышленной площадке и в санитарно-защитной зоне, а также технологические датчики атомных электростанций для определения параметров радиоактивного выброса в атмосферу. Программное обеспечение представляет собой вычислительные модели, используемые для прогностических расчетов. Метеорологические параметры включают измерение направления ветра, продольной, поперечной и вертикальной скорости ветра, температуры, влажности и давления атмосферного воздуха.

Измерение этих параметров необходимо, поскольку их значения оказывают существенное влияние на устойчивость атмосферы, которая, в свою очередь, определяет характер рассеивания радиоактивной примеси при ее переносе. Кроме того, уравнение переноса радиоактивной смеси в атмосфере напрямую связано с такими параметрами как коэффициент турбулентной диффузии, скоростями продольного и поперечного ветра, которые необходимы для точных расчетов объемной активности, газоаэрозольной радиоактивной примеси,

распространяющейся в атмосфере в условиях радиационных аварий на АЭС, а также для оценки радиоактивных загрязнений (в том числе прогнозируемых) подстилающей поверхности, обусловленных прохождением в атмосфере облака радиоактивных выбросов.

В проекты АЭС в Российской Федерации встроена система радиационного контроля (СРК), измеряющая контролируемые параметры, характеризующие радиационное состояние на станции и в окружающей среде. Это справедливо для всей деятельности АЭС как вовремя, так и после проектных инцидентов и вывода АЭС из эксплуатации [13]. Технические средства контроля радиации от газовых и аэрозольных выбросов в атмосферу, а также жидких сбросов атомных электростанций, позволяют осуществлять непрерывный автоматизированный контроль, оперативное управление посредством портативных мобильных средств, обеспечивающих сбор проб и их доставку, лабораторный анализ этих проб при использовании стационарного оборудования и обработку результатов измерений.

Объем и периодичность радиационного контроля устанавливаются регламентом радиационного контроля атомных станций и согласовываются с территориальными органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора России. Помещения системы радиационного контроля окружающей среды (СВК) для пробоподготовки, радиометрических и спектрометрических измерений находятся в специальных лабораториях АЭС, а оборудование измерения метеорологических параметров располагается в лабораториях внешней дозиметрии за городом, для получения соответствующей информации без эффектов возмущения, которые могут оказывать городские постройки на показания приборов. Лаборатории внесены в Госреестр и имеют «Свидетельство об аккредитации лаборатории радиационного контроля». Радиационный мониторинг окружающей среды включает отслеживание годового и уровня гамма-излучения в регионе; осуществляет оценку метеорологических условий; стремясь предотвратить загрязнение воздуха, почвы, растительности и открытых водоемов, а также местных кормов и продуктов питания. Методы измерения контролируемых параметров аттестованы. Отбор проб в окружающей среде

осуществляется в санитарно-защитной зоне, зоне наблюдения АЭС и пунктах контроля, которые расположены таким образом, чтобы радиационный контроль охватывал территорию около 40-50 км от АЭС [13].

Постоянные места наблюдения за объектами окружающей среды обычно располагаются в районах с высокой плотностью населения, к которым также легко добраться на автомобиле и которые могут обслуживаться круглый год. По отношению к АЭС наблюдательные посты расположены в четырех основных районах: по вектору преобладающего направления ветра на территории и, соответственно, в противоположном и перпендикулярном направлениях. Термолюминесцентные дозиметры, установленные в различных точках населенных пунктов, позволяют контролировать дозы облучения населения. В районе расположения АЭС для непрерывного контроля используется автоматизированная система радиационного контроля (АСКРО). АСКРО АЭС использует единую информационную систему Концерна Росэнергоатом. В Единую государственную автоматизированную систему радиационного контроля (ЕГАСКРО) в Российской Федерации данные АСКРО поступают через систему филиала Госкорпорации «Росатом» [58, 59, 62].

Для удовлетворения современных требований радиационной безопасности необходимо создание системы мониторинга, позволяющей в режиме реального времени оценивать и прогнозировать радиационную ситуацию на территории АЭС [35, 37]. Это означает, что устройства наблюдательной сети, расположенные для автоматической регистрации и передачи параметров радиационной обстановки, должны учитывать, как соответствующие метеорологические данные, так и возможные направления распространения радионуклидов в окружающей среде. Кроме того, гибкая система запросов и отображения информации должна поддерживаться сетевой моделью представления данных, лежащей в основе взаимодействия баз данных, используемых в системе радиационного контроля. В состав программного обеспечения системы мониторинга должен быть включен комплекс моделей для диагностики и прогнозирования распространения радиоактивности в окружающей среде и оценки радиационного облучения

населения при штатной и аварийной эксплуатации АЭС. В эти модели должны быть включены как прогнозные, так и реальные метеорологические данные. Кроме того, необходимо включить алгоритм для изменения параметров модели в ответ на данные измерений автоматизированной системы мониторинга.

Подобные проекты реализовывались и реализуются в России в рамках государственной программы ЕГАСКРО (в частности, система RECASS NT) [37]. В то же время в Европе соответствующие мероприятия ведутся в рамках создания системы RODOS по инициативе Европейской комиссии. В этом контексте представляется целесообразным использовать для предлагаемого проекта достижения организаций, имеющих опыт разработки и внедрения систем мониторинга. Цель исследования — создание функционирующей системы радиационного контроля в зоне воздействия АЭС в режиме реального времени. Это позволит получить доступ к объему аварийной информации банка данных в режиме реального времени на основе автоматизированных измерений. Система также позволит спрогнозировать распространение радиоактивной примеси, ее характерные особенности и ожидаемые последствия, а также долгосрочные эффекты регулярных выбросов с учетом конкретных метеорологических условий в регионах, где располагаются АЭС [11, 13, 37].

Для достижения нового стандарта аварийного реагирования, удовлетворяющего современным нормам радиационной безопасности, необходимо разработать систему мониторинга, позволяющую в режиме реального времени оценивать и прогнозировать радиационную обстановку на территории АЭС. Это означает, что при использовании сети наблюдений, должны автоматически учитываться направления распространения радионуклидов в окружающей среде, метеорологические данные, регистрируемые соответствующие аппаратурой, а также характеристики радиационной обстановки. Кроме того, поверх структуры банка данных системы радиационного контроля должна быть построена гибкая система запросов и представления информации, которая должна гарантировать взаимодействие баз данных с сетевой моделью их представления, т.е. модель

должна допускать интерактивное вмешательство, что позволит более полным образом оценить радиационную обстановку в условиях радиационной аварии. В состав программного обеспечения системы мониторинга следует включить набор моделей для диагностики и прогнозирования распространения радиоактивности в окружающей среде и оценки радиационного воздействия населения при штатной и аварийной эксплуатации АЭС [11, 37].

3.2. Цели, функции и задачи систем автоматизированного мониторинга радиационной обстановки в районе расположения АЭС

В основе АСКРО лежит сеть наземных постов контроля мощности дозы фотонного излучения; совокупность метеорологических датчиков, показания которых определяют состояние устойчивости атмосферы; технологические датчики для определения параметров выброса радиоактивных загрязнений в окружающую среду; программное обеспечение нижнего и верхнего уровней: нижний уровень обеспечивает обработку данных (показаний датчиков) для преобразования их в определенный формат для использования в виде исходных данных в прогностических расчетах [37]. Программное обеспечение верхнего уровня основано на компьютерных моделях переноса радиоактивной примеси в окружающей среде, а также на методах оценки дозовых нагрузок на персонал и население. Результаты расчетов дают непосредственную информацию о радиоактивном загрязнении окружающей среды.

Работа АСКРО осуществляется в режиме реального времени. Это достигается за счет автоматизации сбора данных о радиационных и метеорологических параметрах, на основе которых математические модели рассеяния радиоактивных примесей в воздушной и водной среде при ядерных выбросах используются для проведения прогностических расчетов. При строительстве АСКРО необходимо учитывать экономические, экологические, физические и технические факторы, а также демографические особенности территории вокруг АЭС [38, 39]. Условия размещения постов радиационного контроля на промплощадке и в санитарно-защитной зоне атомной электростанции должны соответствовать указанным факторам. Погрешность прогностических оценок радиоактивного загрязнения

окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население, полученных с помощью вычислительных моделей, можно минимизировать за счет уточнения метеопараметров атмосферы, путем использования показаний детекторов γ -излучения АСКРО и уточнения мощности выброса газоаэрозольных радиоактивных примесей (P_B) выбрасываемых в атмосферу, (например, при выбросах инертных радиоактивных газов), в условиях радиационных аварий и при нормальной эксплуатации [35, 37].

Пограничный слой атмосферы определяется несколькими метеорологическими параметрами, такими как скорость ветра, температура и влажность. Изменение любого из этих параметров повлияет на устойчивость пограничного слоя (т. е. пограничного слоя атмосферы) в целом, что, в свою очередь, повлияет на концентрацию радиоактивных примесей и радиационную обстановку в этой области. По этому рекомендуется определять метеорологические параметры региона в расположении АЭС на конкретных метеоплощадках лабораторий внешней дозиметрии, т.е. рекомендуется измерять направление, скорость и температуру ветра на нескольких уровнях на метеорологической мачте метеоплощадки внешней дозиметрической лаборатории методом градиентных наблюдений. Эти измеренные параметры затем можно использовать в качестве ориентиров для расчета полных профилей этих величин в пограничном слое атмосферы в более сложных метеорологических моделях или в качестве констант непосредственно в уравнениях, на основе которых определяется распределение радиоактивных примесей в атмосфере.

Назначение автоматической системы радиационного контроля состоит в непрерывном контроле уровней радиации на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения АЭС. Данные собираются и обрабатываются автоматически с постов контроля, а прогнозы распространения радиоактивной примеси осуществляются с помощью математических моделей, основанных на геофизических атмосферных процессах. Значения дозовых нагрузок на персонал и население на территории ПП, СЗЗ и ЗН в условиях радиационной аварии оцениваются и оперативно сообщаются лицам, принимающим решения, об

уровне радиации в этих регионах [37]. Основными задачами «СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ» являются измерение уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды при заданных метеорологических условиях, сбор информации об измеряемых величинах, отклонениях измеренных или расчетных величин дозовых нагрузок от установленных контрольных уровней, а также составление прогнозов относительно радиационной обстановки в зоне вокруг станции на основе математических моделей; выдача рекомендаций по защите персонала и населения по результатам оценки радиационной обстановки на промплощадке АЭС в СЗЗ и ЗН; передача обобщенных данных о радиационном состоянии окружающей среды в районе расположения АЭС, специалистам по радиационной безопасности и руководству АЭС; передача информации о радиационной обстановке внешним потребителям [11, 37].

Функции «СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ» должны выполняться в результате выполнения следующих функций: измерения и контроля радиоактивного загрязнения окружающей среды на промышленной площадке АЭС в СЗЗ и ЗН; контроля и расчета метеорологических параметров атмосферы; контроля параметров газоаэрозольных выбросов из вентиляционной трубы АЭС; расчета характера пространственных распределений радиоактивных примесей в условиях газообразных и аэрозольных выбросов; расчета приземной концентрации радиоактивной примеси; расчета дозовых нагрузок на промышленной площадке АЭС в СЗЗ и ЗН при нормальной эксплуатации и в аварийных ситуациях; проведения сравнительных оценок данных, необходимых для принятия решений по защите персонала и населения [35, 37].

В целях минимизации последствий любой радиационной аварии система АСКРО (ARMS) в режиме реального времени предоставляет информацию о развитии радиационной аварии как эксплуатационной службе, так и руководству АЭС. Эта информация позволяет принять незамедлительные меры по снижению уровней радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население [13, 37]. Следует подчеркнуть, что минимизация последствий радиационной аварии, поскольку она зависит от надежности оборудования

(приборного обеспечения) АСКРО и его качественных показателей, имеет решающее значение для минимизации материального вреда окружающей среде и, следовательно, населению. Принципиальная схема системы АСКРО представлена на рис. 3.1, на котором достаточно детально показано приборное обеспечение, используемое для эффективной работы АСКРО, блок программного обеспечения и оборудование комплекса задач, на основе решения которых осуществляется прогнозирование радиоактивного загрязнения окружающей среды.

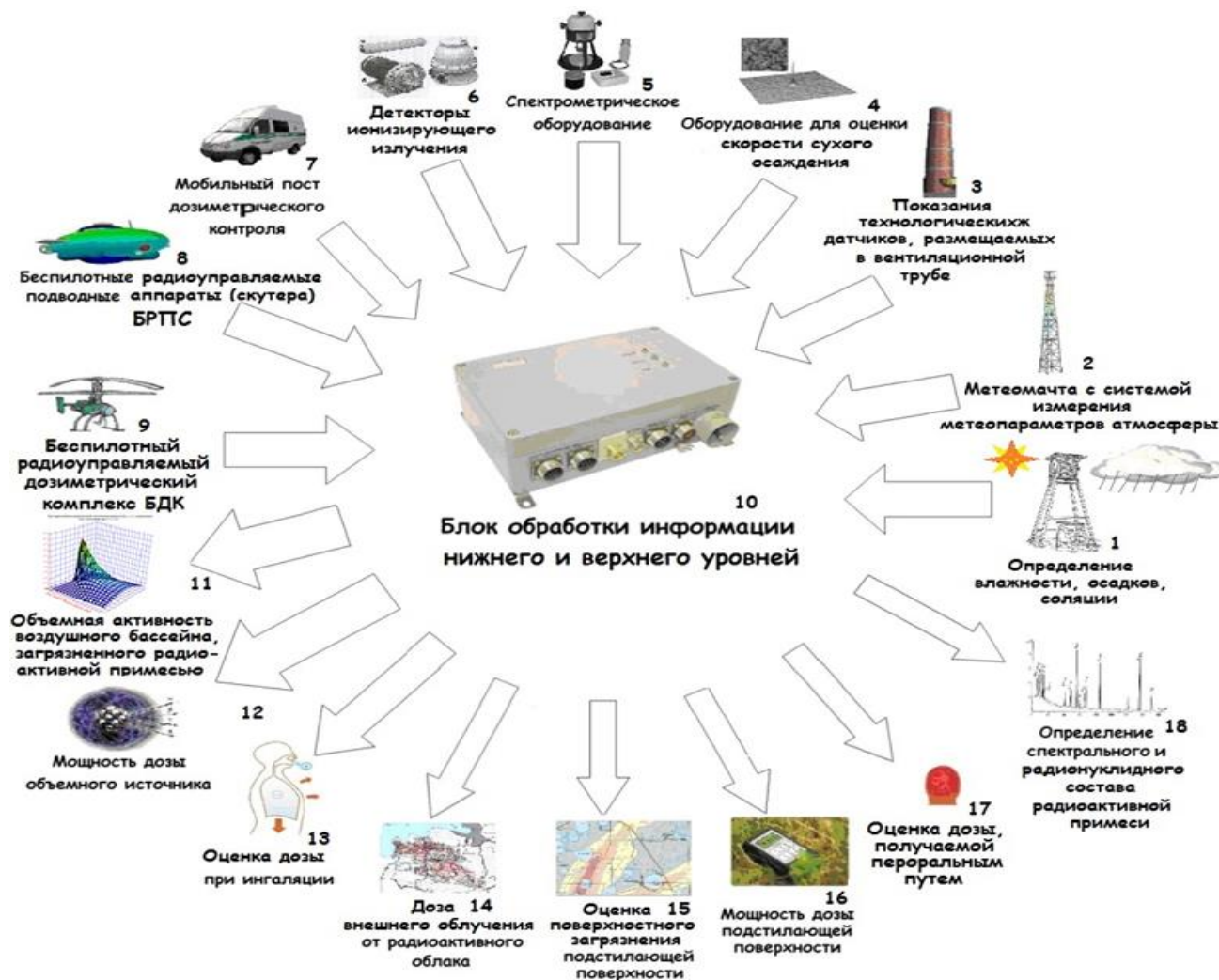


Рис. 3.1. Приборное обеспечение и выходные параметры системы АСКРО, используемой для прогнозирования и оценки последствий радиоактивного загрязнения окружающей среды [35]

Важнейший компонент системы АСКРО — оборудование, обозначенное иконками (1 – 9), служит для сбора предварительных данных, устанавливающих состояние устойчивости и метеорологические свойства атмосферы, в которой распространяется радиоактивная газоаэрозольная примесь, а также оборудование,

определяющее ее радионуклидный состав, обозначенное иконкой 18. Блок (10) состоит из специализированного оборудования, включающего блок специального программного обеспечения, предназначенный для обработки первичной информации, предоставляемой аппаратурой регистрации метеопараметров и параметров ИИ, и блока программного обеспечения, предназначенного для оценки и прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды в случае радиационных аварий. Данное программное обеспечение позволяет выполнять ряд расчетов, результаты которых отображаются значками (11–17). Работа системы осуществляется следующим образом: первичная информация поступает в блок или систему блоков обработки данных от устройств, обозначенных значками с 1 по 9. После первичной обработки данные представляют собой несколько параметров, которые устанавливают отправные точки для систем уравнений, описывающих атмосферный перенос радиоактивных примесей. Прогноз, полученный на основе этих уравнений, описывает радиоактивное загрязнение воздушного бассейна и подстилающей поверхности, а также определяет дозовые нагрузки на население и персонал в случае радиационных аварий [35, 37].

В дальнейшем для анализа особенностей характера распределения радиоактивной примеси в направлении ветра в воздушном бассейне, а также характера радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности ограничимся, для простоты, стационарным точечным источником выбросов радиоактивных примесей в атмосферу и предположим, что все датчики работают в заданных условиях, обеспечивая все необходимые параметры, определяющие граничные условия переноса радиоактивных примесей в атмосферу, и необходимые характеристики, определяющие радионуклидный состав примеси, а также метеорологические характеристики атмосферы, определяемые, например, в рамках модели ее приземного слоя [11–13, 63].

3.3. Метеорологические наблюдения в регионе, предполагаемом для строительства атомной электростанции.

Основой АСКРО является совокупность датчиков метеопараметров, по показаниям которых определяется состояние устойчивости атмосферы, система постов контроля мощности дозы гамма-излучения, расположенных в выбранных для этой цели пунктах, технологические датчики АЭС, предназначенные для определения параметров выброса радиоактивных примесей в атмосферу, а также расчетные модели, используемые для прогнозных расчетов. К определяемым метеорологическим параметрам относятся: направление ветра, продольная и поперечная скорости ветра, температура и влажность атмосферного воздуха и осадки (дождь, снег и мокрый снег). Измерение этих параметров необходимо в связи с тем, что их значения используются для определения состояния устойчивости атмосферы, что, в свою очередь, оказывает существенное влияние на распределение радиоактивных примесей в атмосфере при ее переносе. Кроме того, продольная и поперечная скорость ветра, а также коэффициент турбулентной диффузии как функция высоты непосредственно включаются в уравнение переноса радиоактивных примесей в атмосфере, форма которого с граничными и начальными условиями рассматривается в рамках геофизической модели переноса радиоактивных примесей в атмосфере. Метеопараметры атмосферы, к которым относятся: $u(z)$ – продольная скорость воздушного потока на высоте z (при поперечной скорости равной нулю), $k(z)$ – коэффициент турбулентной диффузии и $b(z)$ – энергия турбулентных пульсаций, определены в работе [64] в рамках модели приземного слоя атмосферы вместе с методикой градиентных наблюдений над скоростью ветра и температурой.

Таким образом, измерение этих метеопараметров является необходимым условием для корректного расчета объемной концентрации радиоактивной газоаэрозольной примеси, распространяющейся в атмосфере, в условиях радиационных аварий на ядерных объектах, а также расчетных оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды в момент образования следа радиоактивного выброса. Программа атомной электростанции Нигерии — это

проект по строительству атомной электростанции типа PWR на двух площадках в районе местного самоуправления Иту, штата Аква-Ибом в районе дельты реки Нигер в южной части страны, и Герегу, в районе местного самоуправления Аджакута штата Коги, в северной части страны. Указанные данные относятся к метеорологическим характеристикам предполагаемых площадок строительства атомных электростанций в Нигерии. Измеряемые параметры включают скорость ветра и температуру на разной высоте на метеорологической вышке для разных сезонов в разное время суток. Эти характеристики позволяют рассчитывать метеорологические параметры приземного слоя атмосферы: скорость воздушного потока, температуру, коэффициент турбулентной диффузии и энергию турбулентных пульсаций в виде высотных функций. Это позволит в дальнейшем сформулировать и решить задачу оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды в рамках модели приземного слоя атмосферы при гипотетической аварии на АЭС в Нигерии. Измеренные параметры также дадут возможность провести исследования по оценке необходимого и достаточного количества детекторов ионизирующего излучения и контрольно-измерительной аппаратуры, располагаемых вокруг атомных электростанций. В табл. 3.1 и 3.2 Метеорологического агентства Нигерии приведены параметры, характеризующие метеорологические условия для выбранных площадок для атомных электростанций в Нигерии.

Таблица 3.1. Ежедневная выписка метеонаблюдений в Герегу Государства Коги*

Месяц	Темп. Макс	Темп. Мин.	Темп. Средн.	Точка росы	Отн. осадков	Облако	Отн. влажность	Соля-ция	Ветр. режим	Скорость ветра
Янв	35,5	16,6	26,0	20,8	0	6,8	69	4,2	140	3,0
Февраль	36,0	26,2	31,1	24,9	4,7	6,7	66,5	4,7	180	4,0
Март	35,8	25,6	30,7	25,2	4,8	6,8	69	8,2	210	4,0
Апрель	33,0	25,0	29,0	24,5	2,6	6,5	72	6,7	220	4,5
Май	30,1	24,1	27,1	23,7	6,6	7	74	4,6	180	4,0
Июнь	31,0	24,0	27,5	23,8	14,3	7	76	4,5	190	4,5
Июль	30,6	22,4	26,5	23,3	13,9	7	79	5,8	180	4,0
Август	31,2	23,5	27,4	21,8	11,4	7	83	4,4	210	4,0
Сентябрь	30,2	22,0	26,1	22,2	16,4	7	80	0	210	3,5
Октябрь	32,5	22,6	27,6	21,4	11,4	4,5	72	0	230	4,0
Ноябрь	34,5	22,0	28,3	22,3	4,5	7	65	0	230	4,0
Декабрь	33,8	18,0	25,9	16,8	0	6,2	57	0	210	3,0
Средн.	32,9	22,7	27,8	22,6	7,6	6,6	71,9	3,6	199,2	3,9
*[Метеорологическое агентство Нигерии]										

Таблица 3.2. Ежедневная выписка метеорологических наблюдений в Иту штата Аква Ибом*

Месяц	Темп Макс	Темп. Мин.	Темп. Средн	Точка росы	Отн. осадков	Облако	Отн. влажн. ость	Соляци я	Ветр реж.	Скор ость ветра	Давл ение
Янв	33,5	19,5	26,5	17,7	0	6,5	59,0	5,7	120	3,5	13,8
Февраль	35,0	23,2	29,1	17,9	0,7	7	44,5	3,7	80	4,0	13,9
Март	32,5	22,6	27,6	18,6	6,1	7	62	3,2	180	3,0	13,7
Апрель	31,5	21,4	26,5	19,4	3,8	7	66	3,2	210	4,0	12,2
Май	31,2	23,1	27,2	24,0	1,5	7	84	4,2	190	2,8	13,1
Июнь	31,5	22,6	27,1	23,3	4,6	6,3	85	5,5	170	3,0	14,8
Июль	29,5	22,6	26,1	21,1	4,3	7	84	4,8	230	4,0	17,1
Август	27,5	23,0	25,3	24,8	5,2	7	93	1,5	240	3,5	16,4
Сентябрь	29,4	21,8	25,6	21,7	2,0	4,5	78	3,1	200	3,0	14,4
Октябрь	29,7	22,6	26,2	24,2	2,4	7	85	3,6	180	2,5	13,5
Ноябрь	29,5	23,0	26,3	24,3	2,1	7	80	3,8	240	0,5	13,1
Декабрь	33,5	22,0	25,9	21,0	0	6,5	60	5	100	0,6	13,5
Средн.	31,2	22,3	26,8	21,5	2,73	6,7	73,4	3,9	178,5	2,9	14,1

*[Метеорологическое агентство Нигерии]

В целом в климате Нигерии выделяются два ярко выраженных сезона (дождливый и сухой), которые формируют основные типы воздушных масс. Один из них - морской экваториальный воздух, который летом приносит с побережья влажные ветры, а затем над пустыней возникает зона пониженного давления, а другой - континентальный тропический, который переносится из Сахары пыльным воздухом, - сухой ветер Хармана. Сезон дождей в стране длится с марта по сентябрь, и только на юге он ненадолго прерывается в августе, а сухой сезон приходится на остальные месяцы года (на севере он длится дольше, чем в других регионах). Среднегодовая температура в стране выше +25 °С. На севере очень жарко с марта по июнь, а на юге - с февраля по апрель, так как в это время воздух прогревается выше +25 °С, в сезон дождей температура несколько падает. В Герегу ветер чаще всего дует с юго-запада, а в Иту чаще дует южный слабый бриз со скоростью ветра 2-10 м/с и температурой 17-40 °С. В регионе Герегу выпадает умеренное количество осадков, он относительно сухой и ветренный, в то время как регион Иту относится к районам с наибольшим количеством осадков и влажностью. Скорость и направление ветра в основном нестабильны в декабре и январе и становятся более стабильными после января с более высоким значением в Герегу, чем в регионе Иту.

Если приведенная информация и даёт какое-то представление о метеорологических условиях в указанных регионах, то в общем случае представленные данные не могут быть применены для построения метеорологической модели, которую можно было бы использовать для оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды (воздушного бассейна и подстилающей поверхности) в случае радиационных аварий на АЭС, в том или другом регионах. Поэтому целесообразно воспользоваться результатами работ [12, 37, 64], в которых были описаны модели приземного и пограничного слоёв атмосферы, используемых в работах [65, 66] для описания метеорологических характеристик при строительстве в регионах любых объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) и при строительстве АЭС в Иордании [65] и Иране [66]. Наиболее простое решение задачи определения метеорологических условий регионов, выделенных под строительство АЭС в Нигерии можно найти, используя модель приземного слоя атмосферы, достаточно подробно рассмотренную в работах [64], [12]. Приземный слой атмосферы играет важнейшую роль в формировании метеорологических процессов во всем пограничном слое атмосферы и характеризуется наиболее резкими изменениями метеорологических элементов (скорости ветра, температуры, влажности) с высотой. В этом слое выделяют следующие особенности [64]:

1. Потоки количества движения и тепла в приземном слое считают постоянными.
 2. Ускорение силы Кориолиса не оказывает влияния на происходящие в приземном слое процессы и не может входить в решение соответствующих уравнений.
- Кроме того, рассматривают случай, когда выполняются условия стационарности и горизонтальной однородности подстилающей поверхности. Система уравнений, описывающая состояние приземного слоя, состоит из уравнений*:

*Все уравнения приводятся в безразмерных величинах.

- динамики

$$k_n \frac{du_n}{dz_n} = \eta_n = 1; \quad (3.1)$$

- теплопроводности

$$\alpha_T k_n \frac{dq_n}{dz_n} = \eta_n = 1; \quad (3.2)$$

- баланса кинетической энергии флуктуации с учетом ее постоянства в области малых z :

$$1/k_n - 1 - b_n^2/k_n = 0; \quad (3.3)$$

- уравнения, связывающего среднюю кинетическую энергию турбулентных пульсаций b_n с коэффициентом турбулентной диффузии k_n и масштабом турбулентных пульсаций l_n :

$$k_n = l_n \sqrt{b_n}, \quad (3.4)$$

а также уравнения для масштаба турбулентных пульсаций

$$l_n = 2 \cdot \frac{k_n (1 - k_n)}{2 - k_n} \cdot \frac{dz_n}{dk_n}, \quad (3.5)$$

где $z_n = z/L$ – безмерная высота; L – масштаб Монина–Обухова (масштаб приземного слоя); u_n – безразмерная скорость ветра ($u = v_* u_n / k$; v_* – динамическая скорость, $k = 0,4$ – постоянная Кармана); $\alpha_T = k_T/k$ – отношение коэффициента турбулентности для тепла и количества движения (рис. 3.2).

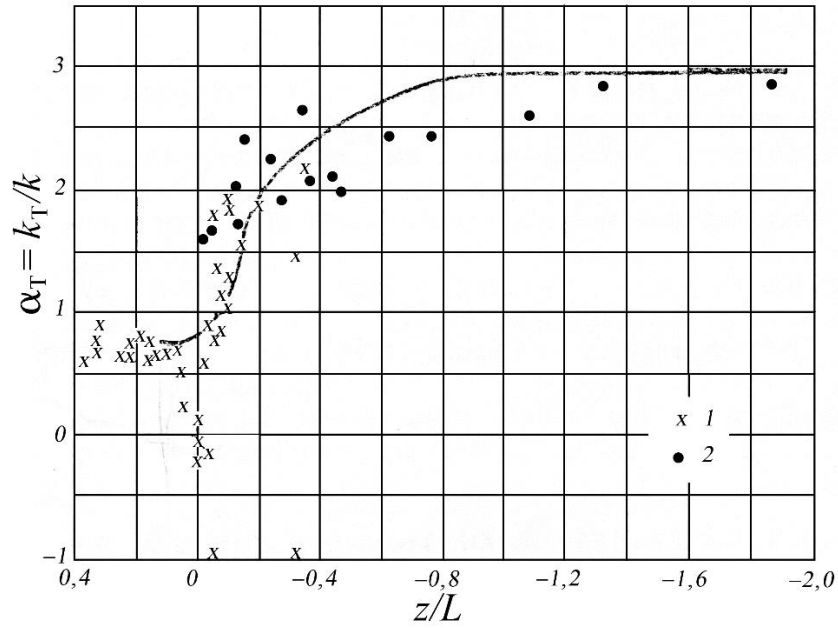


Рис. 3.2. Зависимость отношения коэффициентов турбулентности для тепла и количества движения α_T от безразмерной высоты z/L [64]: 1 – Раунд Хилл; 2 – Австралия

Исключая из уравнений (3.3) – (3.4) величины l_n и b_n , получают уравнение [64] ,

$$dk_n/dz_n = 2(1-k_n)^{5/4} / (2-k_n) \text{ решение которого при условии } \lim_{z_n \rightarrow \infty} (k_n) = 0 \text{ дает}$$

$$z_n = 2/y - 2y^3/3 - 4/3; \quad (3.6)$$

$$k_n = 1 - y^4, \quad (3.7)$$

где y – вычисляемые (см. ниже) значения функции y для различных z_n . При этом для u_n, b_n, l_n получают

$$u_n = 2/y + 2 \arctg(y) + \ln(|1-y|/1+y) + C_1; \quad (3.8)$$

$$b_n = y^2; \quad (3.9)$$

$$l_n = (1 - y^4)/y; \quad (3.10)$$

Постоянную C_1 в (3.8) находят при $z=z_0$ и $u(z)|_{z=z_0} = 0$.

$$q_n = \int_{z_0}^{z_n} \frac{dz_n}{\alpha_T k_n}; \quad (3.11)$$

$$k(z) = k \cdot v_* L k_n; u(z) = v_* u_n / k; b = v_*^2 c^{-1/2} b_n = 4,6625 v_*^2 b_n. \quad (3.12)$$

$$L = -\frac{v_*^3}{k \cdot (g/T_0)(P_0/\rho c_p)}, \quad (3.13)$$

где g – ускорение свободного падения, T_0 – температура на уровне земли.

Уравнение (3.6) относительно y имеет аналитическое решение Феррари и зависит от z_n следующим образом [12]:

$$y = \begin{cases} \frac{-\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \cdot \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}, & z_n \geq -\frac{4}{3} \\ \frac{\sqrt{A+B} + \sqrt{(A+B) - 4 \cdot \left[\frac{A+B}{2} - \sqrt{\left(\frac{A+B}{2} \right)^2 + 3} \right]}}{2}, & z_n \leq -\frac{4}{3} \end{cases}, \quad (3.14)$$

где $A = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} + \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}$, $B = \sqrt[3]{\frac{(2+1,5z_n)^2}{2} - \sqrt{64 + \frac{(2+1,5z_n)^4}{4}}}$.

При $z = -4/3$ $A = 2$, $B = -2$, $A + B = 0$, $y = \sqrt[4]{3}$.

Таким образом, зависимости скорости ветра $u(z)$ и коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ в рамках модели приземного слоя атмосферы могут быть успешно найдены, если известны параметры приземного слоя v^* и L .

Методика обработки градиентных наблюдений

В рамках модели приземного слоя атмосферы вычисления указанных параметров проводят следующим образом [64]. Измеряют скорость ветра и температуру на двух уровнях z_1 и z_2 , используя значения высот, меньшая из которых должна составлять не менее 10 м, поскольку при измерении скорости ветра на малых высотах возникает возмущение профиля ветра за счет влияния изменения шероховатости подстилающей поверхности [67]. Далее находят разности скорости ветра $Du = u(z_1) - u(z_2)$ и потока тепла $Dq = \theta(z_1) - \theta(z_2)$. Используя формулу (3.13) и выражения для скорости ветра и температуры через безразмерные величины: $u = v^* u_n/k$, $q = -q_* q_n/k$, $\theta_0 = P_0 / c_p v^*$ (θ – потенциальная температура, $\theta = -\theta_* \cdot \theta_n/k$;

$q_* = P_0 / (\rho \cdot c_p \cdot v^*)$, P_0 – поток тепла, ρ – плотность воздуха, c_p – удельная теплоемкость), с одной стороны, получают выражение для динамической скорости v^* , определяемой через отношение разностей измеряемых и вычисляемых значений скорости ветра, на каждой безразмерной высоте z_n по формуле (3.8) в виде: $k(Du/Du_n) = v^*$, а с другой, ее квадрат: $(v^*)^2 = k^2 L(g/\theta_0)(Dq/Dq_n)$, пропорциональный отношению разности измеряемых и вычисляемых значений потоков тепла, также измеряемых и вычисляемых на заданных высотах. При этом разность тепловых потоков Dq_n на двух различных высотах при использовании формулы (3.11) вычисляется по формуле: $Dq_n = -[q(z_{n1}) - q(z_{n2})] = -\int_{z_{n1}}^{z_{n2}} \frac{dz_n}{\alpha_T k(z_n)}$.

Таким образом, разность квадратов динамической скорости v^* определится выражением:

$$(Du/Du_n)^2 - (g/T_0) \cdot L \cdot (Dq/Dq_n) = 0, \quad (3.15)$$

где u_n , q_n – значения функций, вычисленных для различных z_n ($z_n = z/L$) по приведенным выше формулам, а Du_n , Dq_n – их разность. Поскольку Du , Dq – измеряемые величины, а Du_n , Dq_n зависят от L , то выражение (3.15) есть неявная функция L , равенство нулю которой будет иметь место только при определенном значении L , для нахождения которого задаются некоторым значением L_{\max} и варьируют его, например: $L_i = DL \cdot i$, $i = 1, 2, 3, \dots, N$, $DL = L_{\max}/N$, до тех пор, пока разность

$\Delta = |(Du/Du_n)^2 - (g/T_0) \cdot L \cdot (Dq/Dq_n)|$ не будет равна нулю или ее относительная

погрешность:
$$\varepsilon = \left| \frac{(Du/Du_n)^2 - (g/T_0) \cdot L \cdot (Dq/Dq_n)}{(Du/Du_n)^2} \right| \cdot 100\% \quad (3.16)$$

не будет минимальной (в пределе $\varepsilon = 0$). Найденное значение L^* , при котором ε минимальна, и определит искомое значение масштаба приземного слоя L , определяемого через метеорологические параметры: $L^* = DL \cdot i^*$. Определив L^* и пересчитав z_n при фиксированных z_1 и z_2 , т.е. пересчитав Dq_n , Du_n , найдем v^* :

$$v^* = k(Du/Du_n). \quad (3.17)$$

Приведенный метод расчета наиболее целесообразен при расчете метеопараметров на ЭВМ. Поскольку параметр L может быть как $L > 0$, так и $L < 0$ (при $L = 0$ режим движения теряет турбулентный характер [64]), то все возможные вариации L_i должны проводиться по формуле: $L_i = DL(N + 1 - i)$, $i = 1, 2, 3, \dots, N, N + 1, N + 2, \dots, 2N + 1$. В этом случае, если ε_i , при некотором i будет минимальным, то параметр L_i вычисляют по последней формуле. Последнее позволит учесть различную стратификацию слоя атмосферы, задаваемую температурным режимом. Для расчета $u_n(z_n)$, $k_n(z_n)$ при найденном L целесообразно пользоваться не таблицами, представленными в работе [64], а аналитическим выражением для $y_n(z_n)$ как функции z_n (3.14) [12]. Безразмерные значения этих параметров определены формулами (3.8), (3.7), а размерные — (3.12). Выбор u_n , q_n по заданному z_n осуществляется следующим образом: при заданном z_n находят $y_n(z_n)$, по которому находят соответствующие значения u_n или q_n . Аналогично находят значения u_n , q_n для другого значения z_n (другого уровня), вычисляя затем разности Δu_n , Δq_n . После определения параметров L , v^* значения $u(z)$, $k(z)$ находят по формуле (3.12). Значения метеопараметров, характерных для регионов Герегу и Иту в Нигерии в зависимости от сезонов, приведены в табл. 3.3 и 3.4.

Таблица 3.3. Средние метеорологические данные для проектируемой АЭС в регионе Герегу Штата Коги, Нигерия*

Месяц	Время года	Температура на высоте 57 м, °C	Скорость ветра на высоте 57 м, м/с	Направление ветра на высоте 57 м °C	Температура на высоте 40 м, °C	Скорость ветра на высоте 40 м, м/с	Направление ветра на высоте 40 м, град	Температура на высоте 30 м, °C	Скорость ветра на высоте 30 м, м/с	Направление ветра на высоте 30 м, °C	Температура на высоте 0 м, °C
Январь	Сухой сезон	32,5	3,5	181,3	30,3	2,9	146,7	30,5	2,7	137,8	28,3
Февраль		36,2	3,2	197,6	36,0	2,7	155,4	34,2	2,4	150,2	28,4
Март		36,0	5,4	260,3	35,8	4,1	238,8	33,0	3,1	197,8	28,9
Апрель	Сезон дождей	32,2	5,4	285,3	33,0	2,9	252,2	30,2	4,1	216,8	28,8
Май		30,4	4,7	281,6	30,1	3,5	250,2	29,4	3,6	214,0	28,7
Июнь		29,1	4,1	279,3	31,0	3,2	248,9	30,1	3,1	212,3	27,1
Июль		30,0	4,6	301,3	28,6	4,5	260,7	28,0	3,5	228,9	26,7
Август		27,6	4,5	294,2	26,2	2,4	256,9	26,6	3,4	223,6	26,0
Сентябрь		28,7	3,7	292,0	30,2	3,0	255,7	27,7	2,8	221,9	26,1
Октябрь		29,9	3,0	241,9	28,5	2,6	229,0	26,9	2,3	183,8	25,6
Ноябрь	Сухой сезон	33,1	3,5	217,0	30,5	2,9	215,7	29,1	2,7	164,9	28,1
Декабрь		33,3	3,5	190,9	32,8	2,8	151,8	30,3	2,7	145,1	28,3

*[Метеорологическое агентство Нигерии]

Таблица 3.4. Средние метеорологические данные для проектируемой АЭС
Сайт в Иту штата Аква Ибом, Нигерия (Nimet)*

Месяц	Время года	Температура °С на высоте 57 м,	Скорость ветра на высоте 57 м, м/с	Направление ветра на высоте 57 м, °С	Температура °С на высоте 40 м	Скорость ветра на высоте 40 м, м/с	Направление ветра на высоте 40 м, (град)	Температура на высоте 30 м, °С	Скорость ветра на высоте 30 м, м/с	Направление ветра на высоте 30 м,	Температура °С на высоте 0 м
Январь	Сухой сезон	28,5	3,5	150	26,0	3,0	130	24,0	2,5	120	23,5
Феврал		29,0	3,8	130	27,0	3,4	110	26,0	3,0	100	25,0
Март		28,9	3,0	200	27,7	2,1	200	26,2	2,0	190	24,9
Апрель	Сезон дождей	27,5	4,0	220	25,5	2,8	210	23,5	2,6	200	24,5
Май		26,2	2,8	190	24,2	2,5	170	22,2	2,2	160	23,2
Июнь		25,1	3,0	185	25,5	2,0	165	25,0	2,0	155	24,1
Июль		24,1	3,7	230	24,5	3,1	220	22,5	2,4	210	23,1
Август		25,3	3,5	240	23,3	2,8	215	22,3	2,3	205	22,0
Сентябр		24,6	3,0	210	22,6	2,0	200	21,2	2,0	190	20,6
Октябрь		25,2	2,5	190	25,5	1,9	170	24,0	1,7	160	23,2
Ноябрь	Сухой сезон	26,0	1,5	240	24,0	1,2	200	23,0	1,2	200	22,0

*[Метеорологическое агентство Нигерии]

Рассчитанные значения метеопараметров v^* и L и средние величины высотных распределений $u(z)$, $k(z)$ и $b(z)$ для выделенных условий в регионах Герегу и Иту в Нигерии приводятся в табл. 3.5, а для двух различных сезонов в виде графиков на рис. 3.3 — 3.10. При расчетах метеопараметров использовались два уровня 30 м и 57 м, а значение температуры уровня земли для соответствующих времен года брали из табл. 3.3 и 3.4. Краткий анализ содержания данных этих таблиц показывает, что основное состояние устойчивости атмосферы можно отнести как к слабоустойчивому. На это указывает небольшая скорость ветра на высоте $z_1 = 57$ м, невысокая разность по температуре и скорости ветра по высоте. На этом, достаточно однородном фоне, наиболее ярко выглядят данные таблицы по региону Герегу в сухой сезон в марте, в котором разность температуры и скорости ветра весьма значительны. В этом месяце характер состояния устойчивости атмосферы соответствует наиболее устойчивому, которое по своим характеристикам существенно отличается, от подобных параметров в иные месяцы года (см. Рис. 3.3). Результаты расчета показывают, что минимум $\varepsilon(i) = \varepsilon_{\min}$ составляет 2,69 при $i = 33$. Вторая характерная особенность, представляющая собой «зигзаг» в области индексов $i \sim 70 — 76$, обусловлена условием расчета, возникающим при переходе от $L_i > 0$ к $L_i < 0$, которую при решении рассматриваемых задач не следует

принимать во внимание. В дальнейших расчетах получили данные, приведенные в табл. 3.5 (март), которые позволили провести расчеты скорости ветра, температуры, коэффициента турбулентной диффузии и энергии турбулентных пульсаций как функции высоты, используя формулы (3.12) (см. Рис. 3.3 — 3.6), а на рис. 3.7 — 3.10 представлены аналогичные графики в сезон дождей в регионе Иту (см. Табл. 3.5).

Таблица 3.5. Средние значения метеорологических параметров, определяющих перенос субстанции в атмосфере в регионах Герегу и Иту (Нигерия)

Месяц	Сезон	ν^*	L	\bar{u}	\bar{k}	\bar{b}
Март	Сухой (Гер)	0,149	28	3,175	1,382	0,06
Октябрь	Сухой (Гер)	0,141	1,714	0,56	0,017	0,005
Апрель	Сезон дождей (Иту)	0,03	1,0	1,692	0,034	0,052
Ноябрь	Сухой (Иту)	0,036	– 6,0	0,567	0,035	0,0035

При расчетах использовался пакет Mathcad, при этом принималось $N = 60$, $L_{max} = 60$ м и, соответственно, $DL = 1$ м.

Результаты расчетов метеорологических характеристик

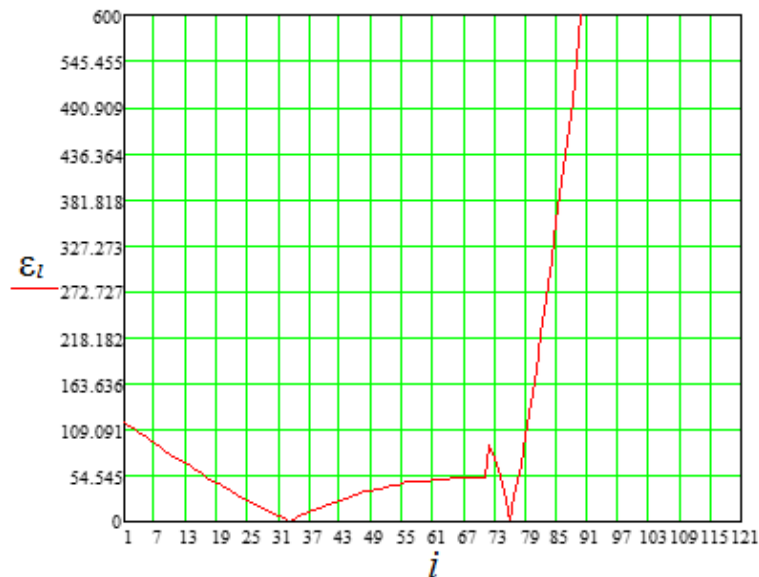


Рис. 3.3. Оценка масштаба приземного слоя атмосферы L по индексу i , в котором $\epsilon(i)$ минимально. Регион Герегу, март (Сухой сезон) [40]

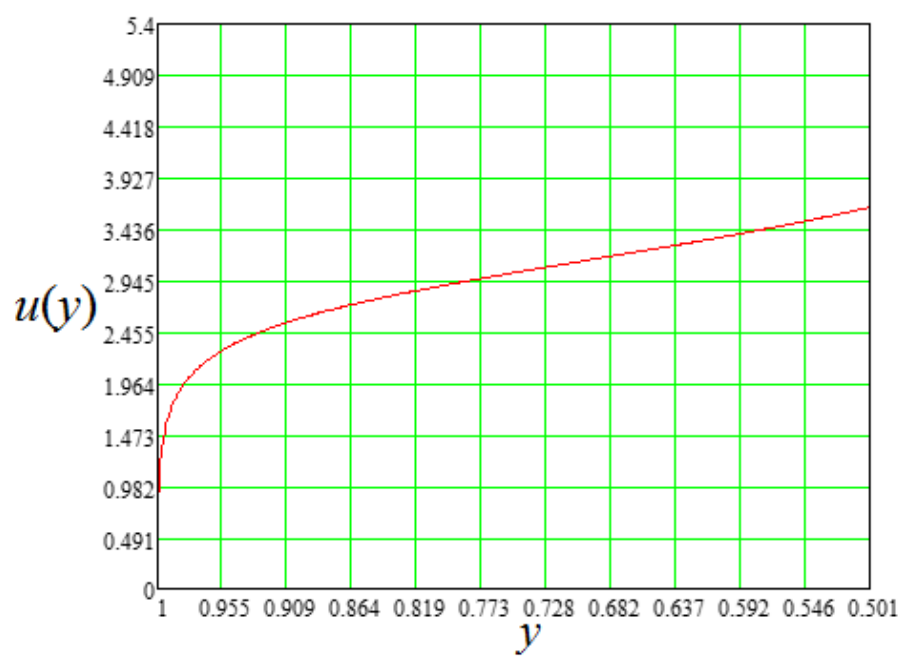


Рис. 3.4. Зависимость скорости ветра $u(y)$ от высоты.
Регион Герегу, март (Сухой сезон) [40]

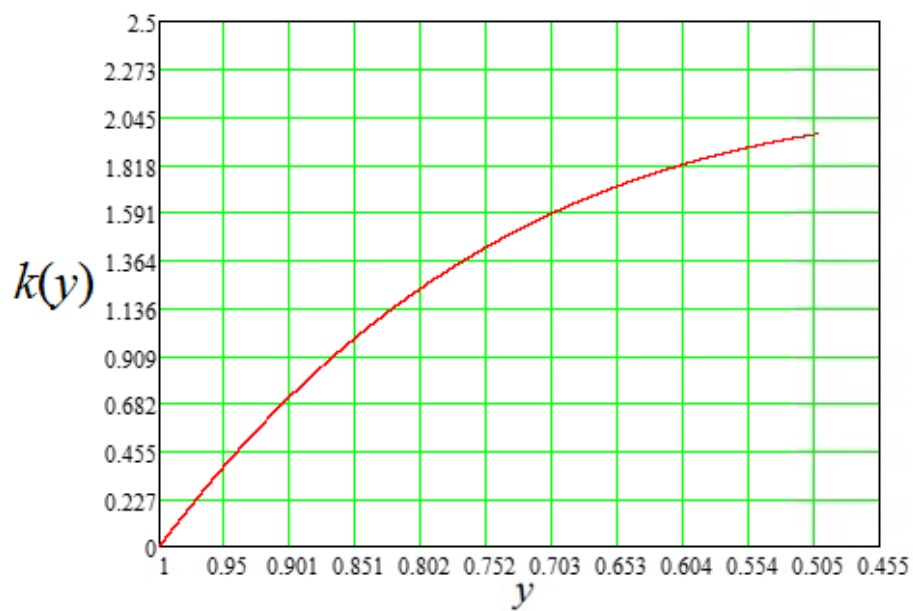


Рис. 3.5. Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ от высоты. Регион Герегу, март (Сухой сезон) [40]



Рис. 3.6. Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(y)$ от высоты. Регион Герегу, март (Сухой сезон) [40]



Рис. 3.7. Оценка масштаба приземного слоя атмосферы L по индексу i , в котором $\epsilon(i)$ минимально. Регион Иту, апрель (Сезон дождей) [40]

Из графика рис. 3.7 следует, что ϵ_{\min} достигает минимального значения при $i = 67$, а масштаб приземного слоя составляет $L = -6$, что соответствует слабонеустойчивому состоянию атмосферы. Остальные средние значения метеопараметров приведены в табл. 3.5.

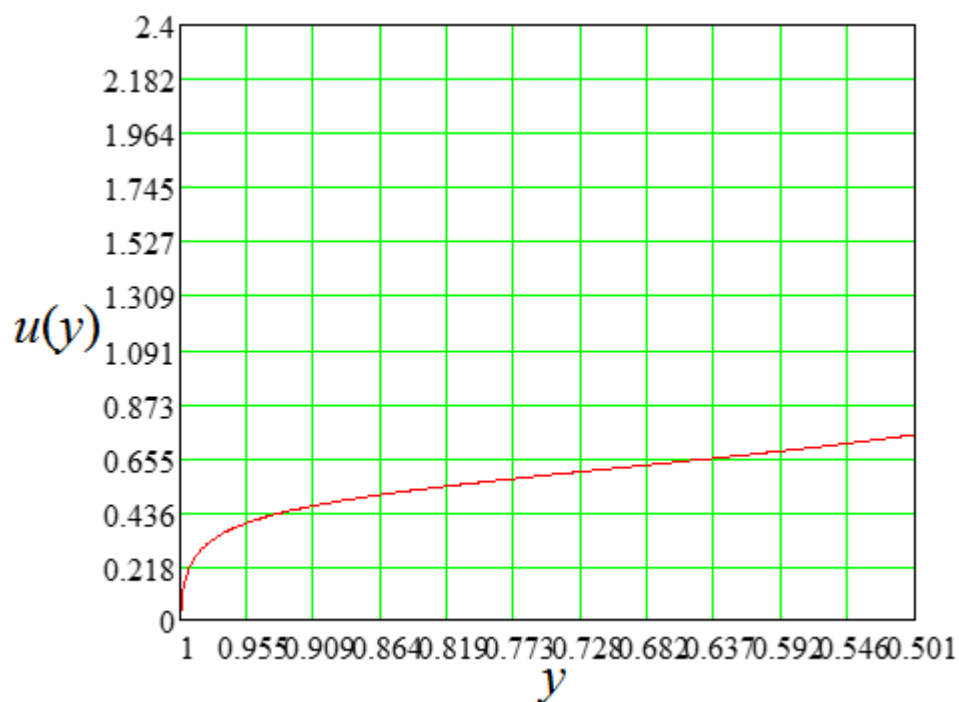


Рис. 3.8. Зависимость скорости ветра $u(y)$ от высоты. Регион Иту, апрель (Сезон дождей) [40]

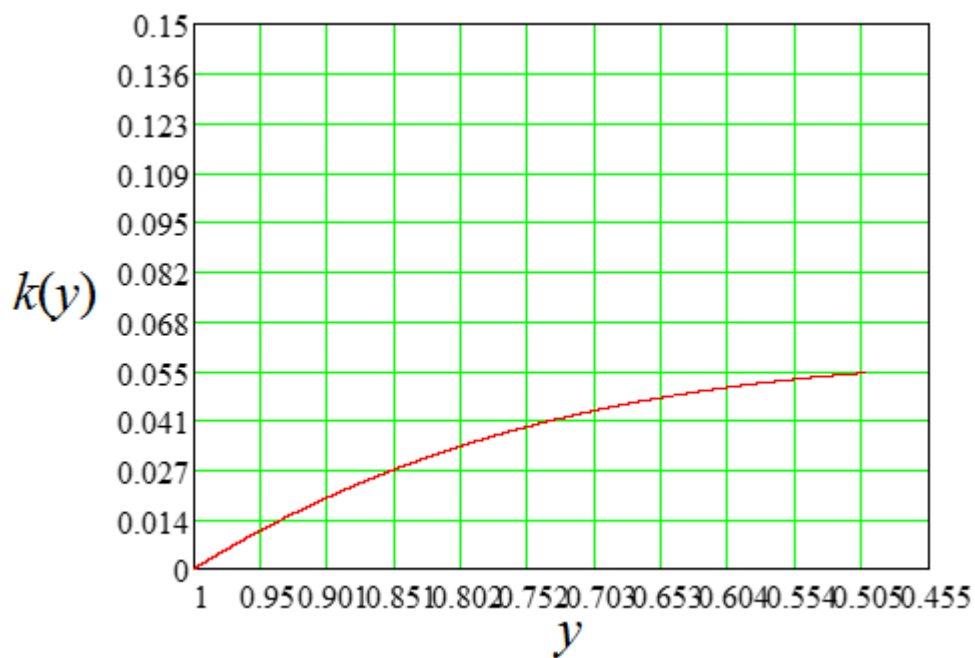


Рис. 3.9. Зависимость коэффициента турбулентной диффузии $k(y)$ от высоты. Регион Иту, апрель (Сезон

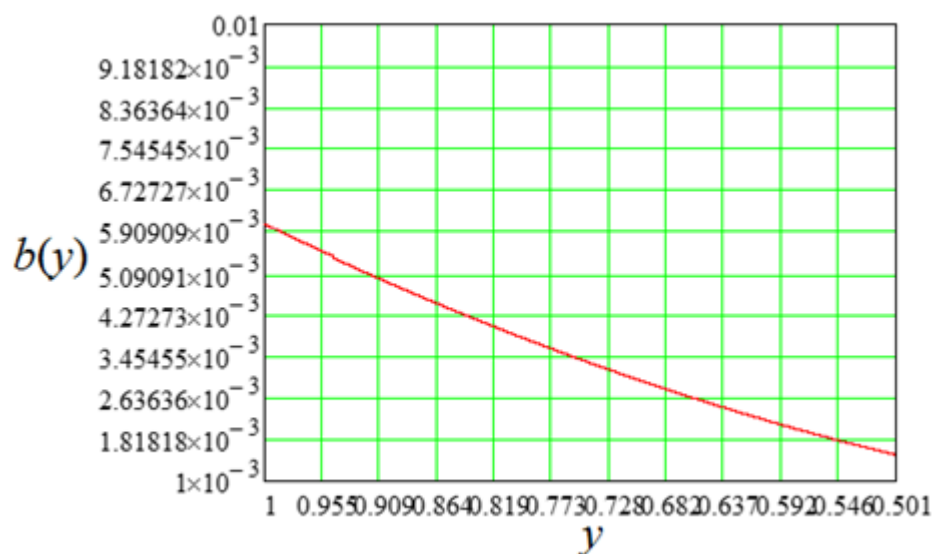


Рис. 3.10. Зависимость энергии турбулентных пульсаций $b(y)$ от высоты. Регион Иту, апрель (Сезон дождей) [40]

Несложный анализ приведенных зависимостей показывает, что метеопараметры, характеризующие состояние устойчивости атмосферы и особенности распространения р/а примеси в условиях радиационных аварий, будут существенно различаться: в сезон дождей приведенные характеристики \bar{u} , \bar{k} , \bar{b} значительно меньше, чем в сухой сезон. Ниже рассмотрим математический аппарат, описывающий перенос примеси в атмосфере в рамках модели турбулентной диффузии.

3.4. Математическое обеспечение гибридных систем радиационно-экологического мониторинга, построенное на основе принципа размещения детекторов гамма-излучения вокруг АЭС и методы их оптимизации.

Чернобыльская авария в СССР в 1986 году стимулировала разработку программного обеспечения, описывающего перенос радиоактивных примесей в атмосфере и радиоактивное загрязнение подстилающей поверхности, представляющее собой своеобразный след радиоактивного облака [37]. Одним из наиболее успешных программных средств является программный инструмент RECASS, предназначенный для поддержки принятия решений в задачах радиоэкологического анализа и прогнозных оценок радиоактивного загрязнения окружающей среды при радиационных авариях [68]. Организацией-разработчиком ПС «RECASS» является НПО «Тайфун». ПС «RECASS» получило применение на ряде Российских АС, используется при проведении учений на АС, организуемых эксплуатирующей

организацией, но в настоящий момент ещё не аттестовано, что сдерживает его распространение.

Основу этого ПС, построенного по модульному принципу, составляют модули STAMP и RIMPUFF. Программная реализация модулей STAMP и RIMPUFF выполнена в рамках единой технологии ПС «RECASS» и входит в банк моделей системы «RECASS», объединяющий в настоящее время модели, выполненные на разной методической основе, различного пространственного разрешения и, соответственно, разной оперативности [37].

В модуле STAMP проведена программная реализация моделей атмосферной диффузии и расчета доз облучения по стандартным методикам (методика МАГАТЭ, методика МХО «Интератомэнерго» [69] и методические указания Минатома России [70]).

Модуль RIMPUFF включает программную реализацию модели мезомасштабной диффузии. Модель позволяет проводить расчеты загрязняющих веществ во время выбросов от одного или нескольких источников переменной мощности [37]. Эта модель может учитывать нестационарную, пространственную изменчивость поля ветра и условия устойчивости атмосферы в сложных условиях местности. Картина загрязнения может быть реконструирована на расстояниях до 50 км от места выброса. Диффузия примеси моделируется набором клубов с гауссовым распределением по всем трем измерениям, движущихся в поле ветра. Общий случай диффузионной модели представляет собой пространственно-временной набор пространственно-временных или интегральных концентраций примеси в воздухе и подстилающая поверхность.

Как известно, стандартные модели гауссовой струи не подходят для реальных, нестационарных или неоднородных атмосферных условий. Погрешность их результатов возрастает с увеличением расстояния. Традиционные модели диффузии в гетерогенных или нестационарных условиях ограничены дальностью в десятки километров. На каждом временном этапе модель рассчитывает перенос, диффузию

и осаджение отдельных облаков в соответствии с местными метеорологическими условиями. Общее поле загрязнения строится как суперпозиция концентраций отдельных клубов и сохраняется в равномерной сетке заданного разрешения, при этом распределение концентрации индивидуального клуба предполагается Гауссовым во всех трех пространственных измерениях.

Входная метеорологическая информация включает в себя: Поле приземного ветра. Поле дисперсии индекса Стерлинга или колебания направления ветра. Поле осадков, построенное для всего периода расчета с определенным временным разрешением внешними программами на основе данных местных метеостанций. Подготовка метеорологической информации происходит в специальном программном блоке для минимизации времени моделирования и интеграции потоков данных. Во многих случаях подготовка прогностической информации необходима только в специализированных прогностических центрах «RECASS», программная реализация подсистемы разработки вариантов контрмер [37]. Описанная подсистема поддерживает процессы принятия решений и разрабатывает варианты противодействия в случае возникновения чрезвычайной ситуации для оптимизации последствий радиоактивного выброса на население в районе операции.

Реализованы функции отображения динамики облучения населения в интересующем пункте, расчета индивидуальных и коллективных доз с учетом принятия тех или иных контрмер (применение индивидуальных средств защиты, временное укрытие в убежищах, эвакуация по заданным маршрутам). В общем случае учитывается внешнее облучение от радиоактивного облака и от загрязненной поверхности земли, а также внутреннее облучение за счет ингаляции радиоактивных продуктов. Ограничения условий применимости ПС «RECASS» определяются следующим диапазоном параметров: по скорости ветра 1 - 30 м/с; по высоте источника от 0 до 250 м; по расстоянию переноса до 50 км; по состоянию устойчивости атмосферы: от устойчивого до неустойчивого [37].

Исходными данными для расчета доз, как правило, являются пространственно-временные поля мгновенных приземных концентраций радиоактивных продуктов

в воздухе и интегральных концентраций выпадений, полученные в результате модельных расчетов или построенные на основе первичных данных, хранящихся в базе данных загрязнений. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах была реализована также в рамках Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) [71]. Несомненным преимуществом модели является ее простота.

К основным недостаткам гауссовских моделей, в том числе рассмотренной выше, относятся слабая обоснованность использования гауссовского закона распределения примесей по вертикали, а также общепринятая типизация (условное деление состояния устойчивости атмосферы на шесть классов) метеорологических условиях, хотя нельзя отрицать определенные удобства такого подхода. Слабая обоснованность заключается в том, что в рамках этой модели распределение концентрации индивидуального клуба, как указывалось ранее, предполагается гауссовым во всех трех пространственных измерениях [72]. Подобное распределение в поперечном направлении относительно направления распространения не вызывает сомнений, а вот вертикальное является детерминированным, т.е., в первую очередь, обусловлено гравитацией. Поэтому на небольших расстояниях от источника гауссово распределение примеси по вертикали возможно и позволяет получить приемлемые результаты, но с ростом расстояния от источника погрешность может возрастать и достигать нескольких порядков [72].

Различные подходы к оценке метеорологических параметров объясняют большую часть вариаций, наблюдаемых в гауссовских моделях. Обычно рекомендуемым методом определения температуры и скорости ветра является использование обычной 10-метровой метеорологической мачты с измерением скорости ветра на расстоянии 10 м. Хотя такого рода измерения кажутся адекватными для небольших высот источников выбросов, они могут привести к большим неточностям в оценках площади радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, а также дозовых

нагрузок при увеличении высоты выбросов [67]. Использование градиентных наблюдений скорости и температуры ветра на многих уровнях (20, 30, 40 м) рекомендуется, если источник выбросов расположен выше 50м [73].

В дальнейшем для решения ряда задач, связанных с оценкой загрязнения воздушного бассейна и подстилающей поверхности в качестве модели переноса радиоактивной примеси в атмосфере используется модель приземного слоя атмосферы, в рамках которой характер распределения радиоактивной примеси в атмосфере рассчитывали, используя решение уравнения турбулентной диффузии [64] свободное от указанных недостатков гауссовых моделей, рассматривая в качестве субстанции объемную активность газоаэрозольной радиоактивной примеси, загрязняющую окружающую среду, $q(x, y, z)$ (Ки/м³) от точечного источника. Выбор указанного вида источника выбросов обусловлен, в первую очередь, простотой решения задачи, т.е. возможностью получения аналитического решения задачи переноса радиоактивной примеси в атмосфере, характер распределения которой аналогичен для того и другого состояний её устойчивости, поскольку при наличии ветра как при точечном «р», так и при объёмном «v» источнике, образуется шлейф радиоактивного облака, загрязняющего атмосферу и подстилающую поверхность при осаждении радиоактивных аэрозолей.

В рамках этой модели перенос радиоактивной примеси в атмосфере рассчитывают, используя уравнение турбулентной диффузии, полагая при этом, что размывание примеси по оси Y осуществляется по закону Гаусса, определяя, таким образом, объёмную активность примеси выражением:

$$\Phi(x, y, z) = \frac{S(x, z)}{\sqrt{2\pi}\sigma_y(x)} \exp(-y^2/2\sigma_y^2), \quad (3.18)$$

где $\sigma_y(x)$ — среднеквадратичное отклонение; функция $S(x, z)$ определяется

выражением:
$$S(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \Phi(x, y, z) dy = 2 \int_0^{+\infty} \Phi(x, y, z) dy \quad (3.19)$$

Таким образом, для объемной концентрации газоаэрозольной примеси получают

уравнение:
$$u \frac{\partial S}{\partial x} - w \frac{\partial S}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z} \left[k(z) \frac{\partial S}{\partial z} \right] - \sigma S + \varphi, \quad (3.20)$$

где $\varphi(x, z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y, z) dy = M \delta(x) \delta(z - h_{\text{эф}})$, $f = M \delta(x) \delta(y) \delta(z - h_{\text{эф}})$ – источник газоаэрозольной примеси, загрязняющий окружающую среду; M – мощность выброса (Бк/с); $h_{\text{эф}}$ – эффективная высота выброса; σ – постоянная релаксации радиоактивной газоаэрозольной примеси, представляющая собой сумму постоянной вымывания примеси из атмосферы σ_0 (с⁻¹) и постоянной радиоактивного распада, которой пренебрегают, рассматривая перенос радионуклидов с большим периодом полураспада. В конечном итоге принимают, что $\sigma = \sigma_0$; w – гравитационная скорость осаждения примеси. В рамках рассматриваемой модели переноса величину $\sigma_y^2(x)$ представляют в виде: $\sigma_y^2(x) = \bar{b} x^2 / \bar{u}^2 (1 + \alpha x \bar{b} / \bar{k} \bar{u})$, где \bar{b} , \bar{k} , \bar{u} – усредненные по приземному слою высотой $H_{\text{пр}} \approx 100$ м значения энергии турбулентных пульсаций $b(z)$, коэффициента турбулентной диффузии $k(z)$ и скорости ветра $u(z)$, $\alpha = 0,015$.

$$\bar{b} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} b(z) dz}{H_{\text{пр}}}; \quad \bar{k} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} k(z) dz}{H_{\text{пр}}}; \quad \bar{u} = \frac{\int_0^{H_{\text{пр}}} u(z) dz}{H_{\text{пр}}}.$$

Граничные условия определяются выражениями:

$$S(x, z)|_{x=0} = 0; \quad (3.21)$$

$$S(x, z)|_{x \rightarrow \infty} = 0; \quad (3.22)$$

$$S(x, z)|_{z \rightarrow \infty} = 0; \quad (3.23)$$

$$k \frac{\partial S}{\partial z} \Big|_{z=z_0} = (\beta - w) S|_{z=z_0}, \quad (3.24)$$

где β – скорость сухого осаждения газоаэрозольной примеси на подстилающую поверхность; z_0 – параметр шероховатости подстилающей поверхности. Аналитическое решение задачи (3.20) – (3.24) дается выражением (3.25), а объемная активность газоаэрозольной примеси радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере, вычисляется по формуле (3.18) [40], [65], [66].

$$S(x, z) = \frac{M}{2} \exp \left(- \left[\frac{\sigma_0 x}{\bar{u}} + \frac{w^2 x}{4k\bar{u}} + \frac{w(z - h_{\phi})}{2k} \right] \right) \left\{ \frac{\exp(-[z + h_{\phi}]^2 \bar{u} / 4kx) + \exp(-[z - h_{\phi}]^2 \bar{u} / 4kx)}{\sqrt{\pi k \bar{u} x}} - \frac{(2\beta - w)}{k\bar{u}} \exp \left[- \frac{(2\beta - w)(z + h_{\phi})}{2k} + \left(\frac{2\beta - w}{2k} \right)^2 \frac{kx}{\bar{u}} \right] \times \right. \\ \left. \times \operatorname{erfc} \left[\left(\frac{2\beta - w}{2k} \right) \sqrt{kx/\bar{u}} + \frac{(z + h_{\phi})}{2\sqrt{kx/\bar{u}}} \right] \right\}, \quad (3.25)$$

Результаты зависимостей, приведенных на рис. 3.3 — 3.10, дают основание для сравнения осевых ($y = 0$) и поперечных ($x = \text{const}$) распределений радиоактивной примеси при ее распространении в атмосфере с аналогичным распределением, полученным при наличии осадков в сезон дождей в апреле в регионе Иту (Аква Ибом) (см. Рис. 3.11, 3.12).

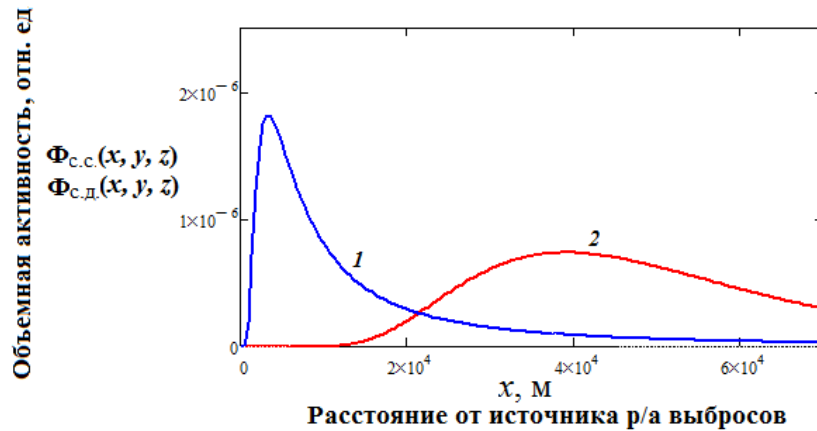


Рис.3.11. Осевые распределения ($y = 0$) объемной активности в регионах Герегу, март (1, сухой сезон, $\sigma_0 = 0$) и Иту, апрель (2, сезон дождей, $\sigma_0 = 0,87 \cdot 10^{-5}$); $z = 1,5$ м [40]

Такое сравнение приобретает особую важность, поскольку рассматривается характер распространения р/а примеси при сухом сезоне и в сезоне дождей, в котором следует учитывать вымывания р/а примеси, характеризующееся постоянной σ_0 , что соответствует метеорологическим условиям выбранных регионов в Нигерии.

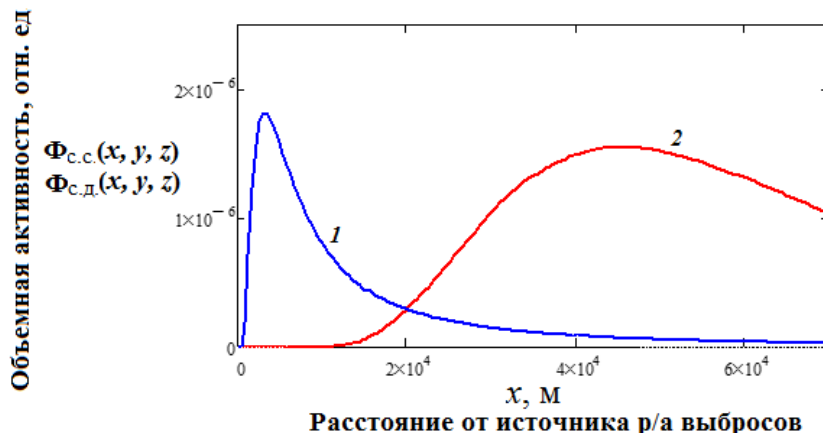


Рис.3.12. Осевые распределения ($y = 0$) объемной активности в регионах Герегу, март (1, сухой сезон, $\sigma_0 = 0$) и Иту, апрель (2, сезон дождей, $\sigma_0 = 0,57 \cdot 10^{-5}$); $z = 1,5$ м [40]

Из представленных на графиках 3.11, 3.12 распределений следует, что зависимость объемной активности, распространяющейся в атмосфере, существенно зависит от значения ее постоянной вымывания из атмосферы σ_0 . Как уже отмечалось, осевое распределение, полученное в сухой сезон в регионе Герегу (кривая 1), практически не отличается от распределения, слабоустойчивого состояния атмосферы, характерного для Русской равнины. Напротив, в сезон дождей в регионе Иту (кривая 2) характер распределения имеет существенное отличие, состоящее в том, что в осевом распределении наблюдается широкий максимум, сопровождающийся медленным спадом объемной активности. При высоком значении постоянной вымывания $\sigma_0 = 0,87 \cdot 10^{-5}$ объемная активность быстро падает (см. Рис. 3.11), хотя характер распределения имеет такой же вид, как и при меньшем значении постоянной вымывания $\sigma_0 = 0,57 \cdot 10^{-5}$ (рис. 3.12), но максимум распределения оказывается сдвинутым в сторону больших расстояний от источника выбросов. Некоторое сомнение вызывает «нулевое» значение распределения объемной активности в начале своего распространения. Последнее обусловлено тем, что приведенное распределение характерно для высоты $z = 1.5$ м, где плотность объемной активности на такой высоте еще достаточно низкая, поскольку коэффициент турбулентной диффузии $k(y)$ наряду с поперечным рассеянием примеси $b(y)$ невелики (см. Табл. 3.5). В связи с чем выпадения примеси в этой области под действием гравитационной скорости осаждения w (см. комментарии к формуле (3.20), также является низким, что и определяет малое значение величины объемной активности в указанной области. Прогностические поперечные распределения p/a примеси в выбранных регионах на расстояниях от источника выбросов $x = 4,0 \cdot 10^3$ м (рис. 3.13) и $x = 3,5 \cdot 10^4$ м (рис. 3.14) для регионов Герегу и Иту представлены на соответствующих рисунках. Как следует из представленных графиков распространения примеси в атмосфере в зависимости от ее состояния устойчивости носит совершенно различный характер.

При слабоустойчивом состоянии в сухой сезон в регионе (Герегу) на малых расстояниях характеризуется максимумом (см. Рис. 3.11, 3.12) и быстро спадает на

больших расстояниях (см. Рис. 3.13, 3.14). Распределение примеси в атмосфере в сезон дождей на небольших расстояниях от источника выбросов представляет собой незначительную величину (см. Рис. 3.13, 3.14) и резко возрастает по мере увеличения расстояния от источника выбросов, достигая своего максимального значения, которое зависит от величины постоянной вымывания примеси дождем, и затем быстро спадает. Максимумы поперечных распределений соответствуют значениям осевых распределений при соответствующих величинах x .

Таким образом, полученные результаты расчетов дают наглядное представление об особенностях распространения радиоактивной примеси в атмосфере регионов Герегу и Иту в Нигерии с учетом ее вымывания осадками.



Рис.3.13. Поперечные распределения объемной активности в регионах Герегу, март (1, сухой сезон, $\sigma_0 = 0$) и Иту, апрель (2, сезон дождей, $\sigma_0 = 0,57 \cdot 10^{-5}$); $z = 1,5$ м [40]

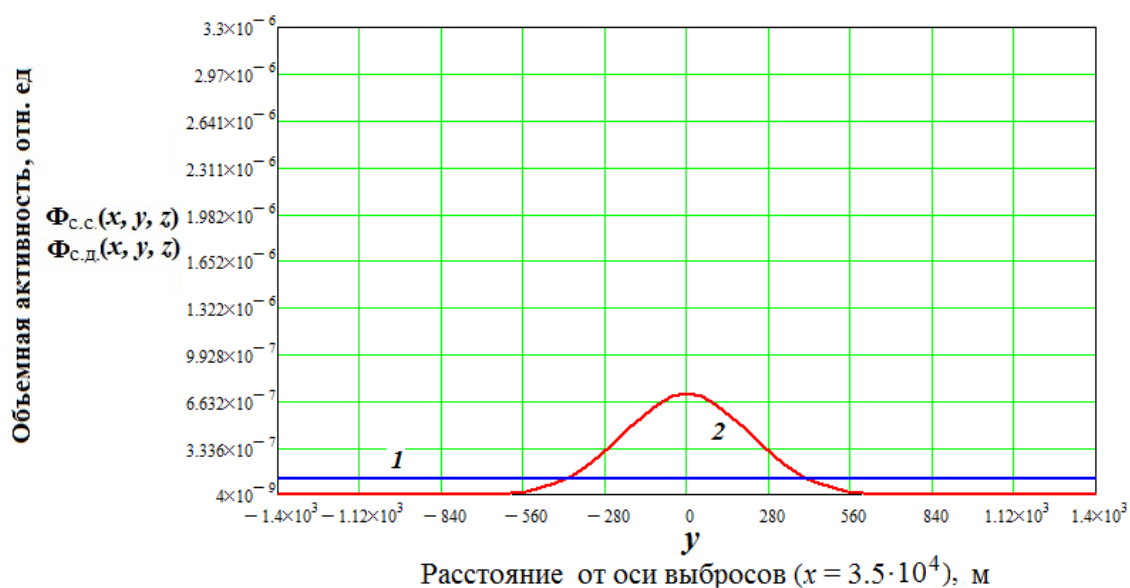


Рис.3.14. Поперечные распределения объемной активности в регионах Герегу, март (1, сухой сезон, $\sigma_0 = 0$) и Иту, апрель (2, сезон дождей, $\sigma_0 = 0,87 \cdot 10^{-5}$); $z = 1,5$ м [40]

Представленные результаты расчетов (например, осевое распределение р/а примеси) следует принимать во внимание как при оценке размеров санитарно-защитной зоны, располагаемой вокруг АЭС в том и другом регионах, так и при определении необходимого и достаточного количества постов радиационного контроля окружающей среды при их размещении в пределах этих зон, в соответствии с нормативными документами [38, 39, 74], а также распределение поверхностного радиоактивного загрязнения в виде изолиний при определении оптимального пути при эвакуации населения из загрязненного радиоактивными осадками региона [75]. При этом следует отметить, что точность полученных оценок распределений, к сожалению, не всегда бывает достаточно высокой, поскольку ряд параметров, определяющих функцию распределения $S(x, z)$ и дисперсию $\sigma_y(x)$ в этих формулах, содержат данные, полученные экспериментально с определенной погрешностью. Наличие погрешности в указанных параметрах модели может привести к тому, что на расстояниях $x \geq 10$ км от источника выбросов точность оценки будет превышать порядок величины [37]. Поэтому в условиях радиационных аварий, во-первых, необходимо, по возможности, уточнить состояние устойчивости атмосферы, определяемое с помощью приборов, представленных на рис. 3.1 иконками (1) и (2), используя более надежные технологии измерения [12, 37], и, во-вторых, использовать радиоуправляемые

беспилотные средства дозиметрического контроля типа БДК (9) [76, 77], позволяющие провести как дозиметрический, так и радиометрический контроль воздушного бассейна и подстилающей поверхности в режиме реального времени (on-line) и, кроме того, обеспечивающие ещё и визуальный осмотр территории, а затем использовать известные транспортные средства (7) для уточнения характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды. Для анализа радиоактивного загрязнения акваторий и их донной поверхности целесообразно использовать беспилотные радиоуправляемые подводные аппараты (8) (рис. 3.1).

Особенности радиоактивного загрязнения окружающей среды (воздушного бассейна, подстилающей поверхности), возникающие при формировании радиоактивного облака от точечного и объёмного источников рассматривались в работах [12, 63]. Для сравнительного анализа указанных характеристик на проекции оси X следа радиоактивного облака как функции расстояния x использовались соотношения вида $[Q_p(x)/Q_v(x)] \times 100\%$ и $[D'_p(x)/D'_v(x)] \times 100\%$, в которых $Q_p(x)$, $Q_v(x)$ — поверхностная активность от точечного и объёмного источника соответственно; $D'_p(x)$, $D'_v(x)$ — значения мощностей доз от подстилающей поверхности (Зв/ч), загрязненной радиоактивными аэрозолями при их выпадении из атмосферы, соответственно от точечного или объёмного источников. В этих работах было показано, что эти величины зависят от состояния устойчивости атмосферы, и заметно различаются на небольших расстояниях от источника выброса (в области 0,8-2 км) при неустойчивом её состоянии, и имеют незначительное различие на расстояниях от 4 до 10 км от источника.

На больших расстояниях от источников выброса указанные отношения постоянны, поскольку отношение величины характерного диаметра радиоактивного облака над источником выбросов d/x , с ростом расстояния x , на котором осуществляются наблюдения, стремится к нулю.

На рис. 3.15а, 3.15б приведены результаты расчетов изолиний пространственного распределения радиоактивной примеси в приземном слое атмосферы (на высоте $z = 1,5$ м) для неустойчивого (а) и устойчивого (б) состояний атмосферы.



Рис. 3.15 а. Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для неустойчивого состояния атмосферы при $L = -5$, $z = 1,5$ м, [65]

Эти расчеты наглядно показывают, какую важную роль может играть состояние устойчивости атмосферы при оценке площади радиоактивного загрязнения, подстилающей поверхности и нанесенного ущерба населенным пунктам, сельскохозяйственным угодьям и экологии окружающей среды в целом. Из анализа характера приведённых распределений приземной активности, следует, что изолинии низких значений поверхностного загрязнения, приведенные на рис. 3.15а и 3.15б, в зависимости от состояния устойчивости атмосферы будут начинаться на различных расстояниях от источника выбросов и существенно отличаются характером распределения.

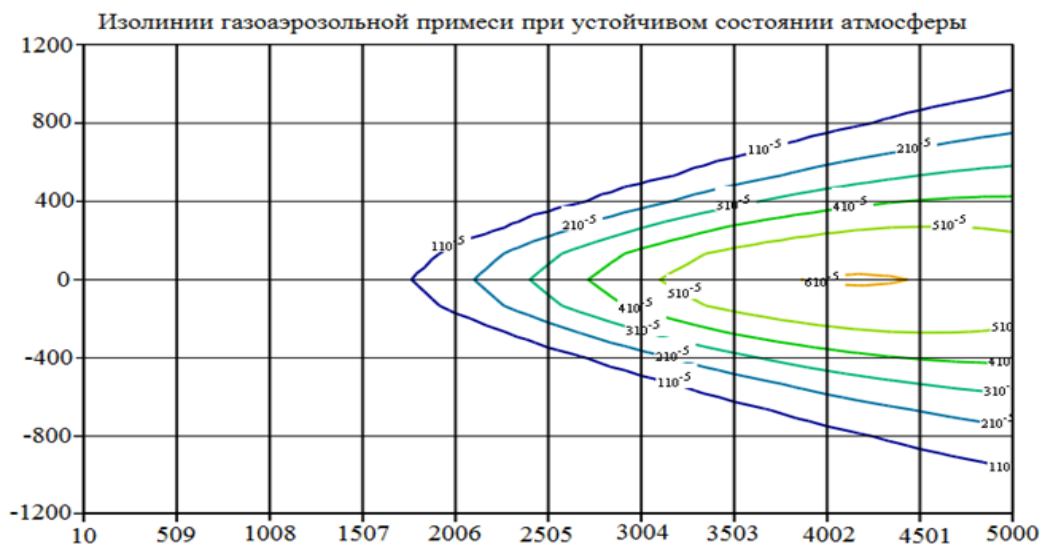


Рис. 3.15 б. Уровни поверхностного загрязнения подстилающей поверхности для устойчивого состояния атмосферы при $L = 17$, $z = 1,5$ м, [65]

Использование этого эффекта позволяет найти оптимальные значения необходимого N_n и достаточного N_d числа датчиков ARMS для любого состояния устойчивости атмосферы, которым характеризуется тот или иной регион, в котором размещается АЭС [12], [78].

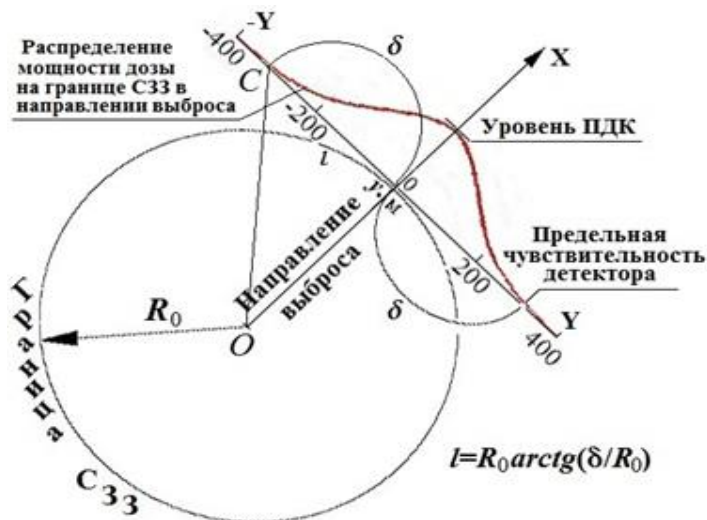


Рис. 3.16. Иллюстрация выбора оптимального количества датчиков АСКРО. На оси XOY на границе СЗЗ в направлении выброса приведено поперечное распределение мощности дозы, создаваемой газоаэрозольной радиоактивной примесью. R_0 — радиус СЗЗ [78]

Метод оценки значений N_n и N_d иллюстрируется рис. 3.16, на котором по графику на расстоянии δ от оси факела выбросов, определяют значение мощности дозы, соответствующее предельной чувствительности детектора, при различном состоянии устойчивости атмосферы. Определив δ , находят, согласно рисунку, длину дуги, $l = R_0 \arctg(\delta/R_0)$ после чего находят значение $[N_n] = 2\pi R_0/2l$ и, окончательно:

$$[N_n] = \pi / \arctg(\delta/R_0), \quad N_d = N_n + 1. \quad (3.26)$$

При малых значениях отношения $\delta/R_0 \ll 1$, которые характерны для устойчивого состояния атмосферы (см. Рис. 3.15б), вместо значения $[N_n]$, определяемого формулой (3.26), находят $[N_n] = \pi R_0/\delta$. Полагая, что при заданной минимальной чувствительности γ -детекторов они ещё будут регистрировать повышенный радиационный фон на расстоянии δ равном 400 м и 200 м соответственно для неустойчивого и устойчивого состояний атмосферы (см. Рис. 3.15 а, б), необходимое количество датчиков $[N_n]$, вычисляемое по формуле (3.26), составит соответственно 12 и 23 для каждого из состояний, а достаточное — на единицу

больше. Датчики следует распределять равномерно по азимуту вокруг радиационно-опасного источника выбросов и на различных расстояниях от него [11,12,74,75,77,78]. Азимутальная равномерность распределения обусловлена консервативным условием выброс и распространение радиоактивной примеси возможны при любом направлении ветра для наиболее худших условий, характерных для устойчивого состояния атмосферы, т.е. создающих наиболее узкий факел выбросов (см. Рис. 3.15 б).

Требование размещения датчиков на различных расстояниях от источника определяется реальной возможностью оценки средней эффективной энергии γ -излучения распространяющейся на ветру радиоактивной примеси по показаниям γ -датчиков АСКРО при полном отсутствии знаний о радионуклидном составе радиоактивной примеси, выброшенной в атмосферу при радиационной аварии. Именно, это условие диктует необходимость размещения датчиков на разных расстояниях от источника выбросов [12, 36, 37, 65, 78 – 80]. Такое расположение детекторов представляет собой, по сути, своего рода пространственный спектрометр, в котором каждый детектор, установленный на определенном расстоянии от источника излучения, измеряет мощность дозы, создаваемую более узким спектром γ -излучения (за счет поглощения низкоэнергетического излучения в воздухе) [35 – 38, 78].

Рассматривая характерные размеры санитарно-защитной зоны, следует отметить, что методика определения периметра санитарно-защитной зоны вокруг АЭС основана на требовании ограничения облучения населения, проживающего за ее пределами, величиной годовой квоты предельной дозы, установленной для АЭС, согласно рекомендациям НРБ-99 и СП АС-2003 [38, 74]. Средняя индивидуальная эффективная доза облучения населения ограничивается перечислением всех радиационных факторов, облучение критической группы людей за пределами санитарно-защитной зоны АЭС при ее штатной эксплуатации и не может превышать минимально значимую величину - 1 мЗв / год. Облучение населения из-за жидких сбросов радионуклидов с АЭС в поверхностные воды обязательно должно быть ограничено квотой предельной годовой дозы, установленной для

этого пути на любом расстоянии от источника сброса, равном 50 мкЗв / год. Годовая индивидуальная эффективная доза облучения критической группы населения пределами СЗЗ от радиоактивных газоаэрозольных выбросов в атмосферу не должна превышать годового предела дозы. Для этого радиационного фактора установлено значение E_8 , равное 200 мкЗв / год для действующих АЭС и 50 мкЗв для проектируемых и строящихся АЭС / год.

В результате поступления радионуклидов в атмосферу индивидуальная доза радиации в районе АЭС происходит по прямым и косвенным путям воздействия. Прямые пути воздействия включают внешнее облучение от фотонов, испускаемых радионуклидами, содержащимися в атмосфере. Сюда следует включить также внешнее облучение от радионуклидов, осевших на почве, и внутреннее облучение, вызванное радионуклидами, попадающими в организм с вдыхаемым воздухом (ингаляционное облучение). Непрямое воздействие радионуклидов, попавших в организм в результате их миграции по пищевым и биологическим цепям (пероральный путь), является косвенным путем воздействия. Преобладающий вклад в дозу облучения населения на прямом пути раскрытия вносят выбросы радиоактивных газов и аэрозолей атомных электростанций в атмосферу. Доза облучения людей, находящихся на косвенном пути облучения, формируется в основном за счет употребления в пищу местных растений и мясных и молочных продуктов [13, 38, 74].

При радиационной аварии на ядерном объекте данные о дозовых нагрузках работников и населения, а также уровнях радиоактивного загрязнения окружающей среды должны оцениваться с использованием норм, установленных нормативными документами. Федеральный закон № 3-ФЗ [38, 74], определяющий «План действий» в соответствии с требованиями этих документов, демонстрирует порядок осуществления отдельных действий на объекте использования атомной энергии в случае радиационной аварии в соответствии со сценарием, определенным в Федеральном законе № 3-ФЗ [38, 74]. В нем также изложены порядок, последовательность и обязательность выполнения этих действий, которые в совокупности направлены на минимизацию последствий радиационной аварии.

При загрязнении территории долгоживущими радионуклидами, характер за

щитных мероприятий существенно изменяется и зависит от величины предотвращаемой эффективной дозы $E_{\text{пр}}$ (мЗв), которую может получить человек, находящийся на данной территории. Значение $E_{\text{пр}}$ определяется критериями: $E_{\text{пр}} < E_A$; $E_A < E_{\text{пр}} < E_B$; $E_{\text{пр}} \geq E_B$, где E_A , E_B - величины предотвращаемых эффективных доз для уровня А и Б, соответственно, значения которых определяют решения об отселении и ограничении потребления загрязненных продуктов питания. Аналогично проводится принятие решений о мерах защиты населения в случае запроектной радиационной аварии с радиоактивным загрязнением территории.

3.5. Определение оптимального пути следования при эвакуации населения из загрязненного района в чистую зону

Экономическая оценка эвакуации населения необходима не только для спасения жизней, но и для минимизации расходов. С помощью этих требований можно сформулировать задачу эвакуации населения из загрязненной территории. Например, результаты расчетов распределения мощности дозы, которые могут представлять собой результаты, приведенные на рисунках 3.14а и 3.14б, могут быть использованы для расчета эвакуации населения из зоны радиоактивного загрязнения [36]. Пусть на регион, представленный городской инфраструктурой и сетью автодорог, ложится след радиоактивного облака, аппроксимируемый изодозами внешнего облучения (см. кривые, рис. 3.17). Требуется найти оптимальный маршрут эвакуации населения из пункта «А» загрязненного региона в «чистую» точку «Б», минимальное количество транспортных средств, необходимых для перевозки населения, количество водителей, эвакуирующих численность населения, общий расход топлива и другие характеристики. Решение этой проблемы находится следующим образом [75].

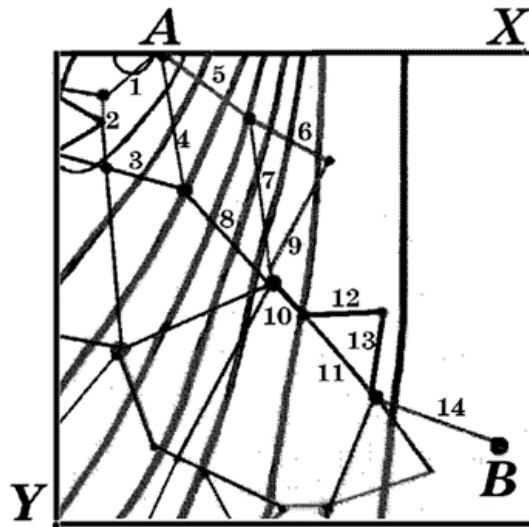


Рис. 3.17. К решению задачи выбора оптимального маршрута эвакуации из загрязненной территории. На рисунке прямые участки представляют собой сеть автомобильных дорог. Плавные кривые – изодозы следа радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности [75]

Для решения этой задачи оценивают величину коллективной дозы, т.е. дозу, которую группа людей может получить на пути следования при эвакуации из пункта «А» в пункт «В».

$$S = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{i,j} \times t_{i,j}, \quad (3.27)$$

где $t_{i,j}$, (ч) – время нахождения транспорта на единице пути $r_{i,j}$ (м), движущегося со скоростью $u_{i,j}$, (м/ч), $0 \leq u_{i,j} \leq u_{\max}$, т.е. $t_{i,j} = r_{i,j}/u_{i,j}$; (мЗв/ч) – мощность дозы на элементарном пути $r_{i,j}$. Полагая $u_{i,j} = \bar{u} = \text{const}$, вместо выражения (3.27) получают

$$S = \frac{1}{\bar{u}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{i,j} \times r_{i,j}, \quad r_{i,j} \geq 0 \quad (3.28)$$

Дополняя уравнение (3.28) ограничениями:

$$\sum_{i=1}^n r_{i,j} / \bar{u} \leq T_j = n \left[(r_j)_{\max} \right]_i / \bar{u} \quad (3.29)$$

$$\sum_{j=1}^m r_{i,j} / \bar{u} \leq T_i = m \left[(r_i)_{\max} \right]_j / \bar{u} \quad (3.30)$$

и требуя минимизации уравнения (3.28), приходят к транспортной задаче линейного программирования:

$$S = \frac{1}{\bar{u}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{i,j} \times r_{i,j}, \quad \rightarrow \min \quad (3.31)$$

При этом оптимальному вектору решения физически должен соответствовать оптимальный путь выхода из загрязненного района, который обязательно должен

быть непрерывным. Последнее означает, что конец предыдущего отрезка пути следования должен совпадать с началом последующего. Поэтому если решение задачи (3.28) — (3.31) существует и $[S]_{\min} = \frac{1}{u} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m D_{i,j} \times r'_{i,j}$, $r'_{i,j}$ — элементарные пути, соответствующие минимуму функционала (3.31), то условие непрерывности пути соответствует выполнению условия

$$\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} [r(x - \varepsilon, y - \varepsilon) - r(x + \varepsilon, y + \varepsilon)] = 0. \quad (3.32)$$

При этом в соответствии с требованиями радиационной безопасности рассматривают только передвижение по шоссейным дорогам, пренебрегая вторичным переносом радиоактивной примеси, т.е. полагая, что принимаются профилактические меры пылеподавления, сыгравшие значительную роль в Чернобыле. Следуя формуле (3.28), зададим на каждом из отмеченных цифрами пути величину средней мощности дозы, равной её половинному значению суммы начала и конца каждого отрезка пути. Измеряя длину каждого, найдем произведение длины пути на величину средней мощности дозы, представляя результаты в виде табл. 3.6, оптимальный путь, на котором в рассматриваемой задаче доза минимальна, определяется дорогами 5; 7; 10; 11; 14.

Таблица 3.6

Решение задачи выбора оптимального пути из загрязненного района [75]														
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
<i>L</i>	7,0	7,5	8,0	13,5	11	9	16	13	12	5	10	9	8	13
<i>D</i>	0,9	0,78	0,55	0,7	0,68	0,27	0,28	0,3	0,19	0,2	0,14	0,14	0,12	0,1
<i>D × L</i>	6,3	5,81	4,4	9,45	7,48	2,43	4,48	3,9	2,28	1,0	1,4	1,26	0,96	1,3
ΣN_0	1;2;3;8		4;8	5;7	5;6;9	12;13;14		11; 14	5;6;9;10; 12;13;14		5;7;10;11;14			
$\Sigma D \times L$	20,41		13,35	11,96	12,19	3,52		2,7	16,71		15,66			

Можно показать, что если найден оптимальный путь следования из загрязненного региона R_{\min} , то можно найти такие характеристики как дозу, которую может получить водитель за 1 рейс, что позволяет найти число рейсов, которое может сделать один водитель без опасности быть переоблученным [36 – 38].

Если в эвакуируемом населенном пункте проживает $[M]_{\max}$ человек и $[M]_{\text{авт}}$ — число человек, перевозимых одной единицей автотранспорта за один рейс, то реше-

ние задачи позволяет найти и необходимое количество автотранспортных средств, равно как и число водителей, участвующих в кампании по эвакуации населения, а также общее количество горючего, и горюче-смазочных материалов необходимых для эвакуации населения. Далее нетрудно оценить и общую величину затрат, необходимых на кампанию по эвакуации населения из загрязнённого региона.

3.6. Радиационный мониторинг выбросов радиоактивной примеси в атмосферу

Система радиационного контроля (СРК), включающая в себя комплексы автоматизированного оборудования и оборудования, обеспечивающего их функционирование (газоводки, трубопроводы, арматура и др.), должна обеспечивать прием и обработку информации о контролируемых параметрах, характеризующих радиационное состояние АЭС и окружающей среды при всех режимах эксплуатации АЭС, включая проектные и запроектные аварии, а также состояние АЭС при выводе из эксплуатации. Проект АЭС должен иметь регулируемые контролируемые параметры; объекты радиационного контроля; виды радиационного контроля; сеть пунктов радиационного контроля; периодичность радиационного контроля; технические средства и методическое обеспечение радиационного контроля; состав необходимых помещений и штат работников, осуществляющих радиационный контроль. В проект АЭС должны входить автоматизированная система радиационного контроля (ARMS), действующая на АЭС и ее промышленной площадке, компьютеризированная система радиационного контроля, действующая за пределами площадки АЭС [13, 36, 37].

При нормальной эксплуатации АЭС ожидаемые отклонения от эксплуатационных параметров, проектные и запроектные аварии должны обеспечивать получение и обработку информации о радиационной обстановке на АЭС и в окружающей среде. Обеспечение эффективности защитных барьеров, активности радионуклидов, выбрасываемых за пределы АЭС, и информация, необходимая для прогнозирования изменения радиационной обстановки во времени. Также дать рекомендации по мерам защиты персонала и населения при использовании необходимого оборудо-

вания прямого действия в составе СРК. В интегрированных системах безопасности (ИБС) должны использоваться следующие технические средства: непрерывный мониторинг на базе стационарных автоматизированных средств; оперативное управление на основе переносных, передвижных или передвижных механических средств; лабораторный анализ с использованием стационарного лабораторного оборудования, средств отбора и подготовки проб к исследованию; индивидуальный дозиметрический контроль (ИДК) облучения персонала. Технические средства автоматизированных систем должны обеспечивать контроль, регистрацию, отображение, сбор, обработку и выдачу отчетной информации по унифицированным формам с учетом необходимости организации соответствующего банка данных.

Мониторинг окружающей среды вокруг АЭС, включает сеть специально оборудованных наблюдательных постов радиационного контроля. Служба РКОС с необходимым набором оборудованных лабораторных помещений должна находиться в отдельном помещении на территории жилого поселка АЭС. Служба РКОС должна иметь специально оборудованные транспортные средства, в том числе плавсредства, для отбора проб объектов окружающей среды, а также радиометрических, дозиметрических и гамма-спектрометрических измерений в лабораторных условиях и непосредственно на земле. Мониторинг экологических объектов должен включать: мониторинг мощности дозы гамма-излучения и годовой дозы на земле; контроль загрязнения воздуха, почвы, растительности, воды открытых водоемов; контроль загрязнения пищевых продуктов и местных кормов [11].

В зонах безопасности и санитарно-защитной зоны АЭС проводится отбор проб окружающей среды. Площадки постоянного наблюдения чаще всего выбираются в густонаселенных районах и местах, открытых для въезда и обслуживания транспортных средств круглый год. По отношению к АЭС наблюдательные площадки расположены в четырех основных направлениях: от станции, совпадающем с напнаправлением преобладающего ветра в данном регионе, и, следовательно, в противоположном и перпендикулярном направлениях. Кроме

того, наблюдения должны проводиться с пункта управления за пределами защитной зоны на наветренной стороне АЭС [13]. Измерение гамма-фона вокруг места расположения АЭС является важной частью РКОО. Наряду с пунктом контроля анализ гамма-фона должен быть осуществлен также на территории Промплощадки и санитарно-защитной зоны АЭС. АСКРО должно осуществлять РКОО автоматически. Информация должна иметь возможность поступать из АСКРО в ЕГАСКРО – Единую государственную систему радиационного контроля. В нормативной документации АСКРО [36, 37] прописаны требования к передаче информации, полученной от АСКРО.

На действующей АЭС должны быть разработаны и согласованы с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора Правила радиационного контроля, определяющие виды контроля, его объем и периодичность. Радиационный контроль на действующих АЭС регулируется эксплуатирующей организацией по согласованию с органами государственного санитарно-эпидемиологического надзора. Перед физическим пуском введенного энергоблока идет полная реализация проекта ARMS. Перед запуском первого энергоблока АЭС изучается радиационная обстановка в районе его расположения. Дозовая нагрузка на население изза технологически измененного фона, выбросов и сбросов радиоактивных веществ предприятий, уже расположенных в регионе, также определяется с выпуском отчета о «нулевом» радиационном фоне. Доступ к информации о радиационной обстановке на атомных станциях и принятых мерах по ее улучшению предоставляется в установленном порядке персоналу, органам исполнительной власти, органам регулирования безопасности, а также гражданам, общественным объединениям и средствам массовой информации. Результаты радиационного контроля следует периодически анализировать для разработки мероприятий по снижению доз облучения персонала и снижению воздействия АЭС на окружающую среду.

3.7. Радиационно-экологический контроль радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при образовании радиоактивного следа

Перенос радиоактивных примесей в атмосферу и их гравитационное осаждение на подстилающей поверхности приводит к ее поверхностному радиоактивно-

му загрязнению, образуя так называемый след эмиссионного облака. Загрязнение поверхности оказывает существенное влияние как на формирование дозовых нагрузок на персонал и население, которые могут оказаться в области следа радиоактивного облака, так и непосредственно на радиоактивное загрязнение растительного покрова местности, на которой сформировался след. Последнее может привести к радиоактивному заражению растительных диких и домашних животных, обитающих на этой территории, а через них и человека. Ограничения, в рамках модели пограничного/приземного слоя атмосферы, обуславливающие изменения состояния устойчивости атмосферы и определяющие, в конечном итоге, решение задачи переноса радиоактивной примеси в атмосфере, связаны как с величиной шероховатости подстилающей поверхности, ее однородностью/неоднородностью, зависящей как от области региона (саванна, область тропической растительности и др.), так и от сезона (засушливый сезон, сезон дождей), в общем случае являются функцией времени (сезона), т.е. не позволяют применить решение задачи, полученное в какой-то один наиболее характерный для данного региона сезон, для любых регионов, поскольку как шероховатость подстилающей поверхности, так и температурные режимы разных областей будут различны [13]. Кроме того, на величину загрязнения поверхности большое влияние оказывает также скорость сухого осаждения β , величина, характеризующая взаимодействие подстилающей поверхности с радиоактивными аэрозолями (радиоактивными примесями), которая также является функцией точки: $\beta = \beta(x, y)$. Из последнего следует, что для получения корректных расчетных данных относительно фоновых значений (включая и техногенный) радиоактивного загрязнения окружающей среды в области расположения радиационно-опасных предприятий, включая и АЭС, необходимо проводить ежесуточный радиационный мониторинг, используя широкий спектр оборудования, представленный на рис.3.1.

Получив представления об основных параметрах, определяющих радиоактивное загрязнение подстилающей поверхности, составим уравнение, решение которого будет определять активность подстилающей поверхности. Пусть функция $q(x, y, z, t)$ является решением уравнения, представляющего объемную активность радио-

активной примеси. Тогда произведение $\beta(x, y)q(x, y, z, t)|_{z=z_0}$ определяет скорость загрязнения подстилающей поверхности радиоактивной примесью. Скорость изменения загрязнения радиоактивными примесями подстилающей поверхности описывается уравнением, в котором первый член в правой части определяет скорость радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, второй - скорость распада. При продолжительности выброса t_d начальная поверхностная активность $\chi_0(x, y)$ и $\alpha(t) = \sum_{i=1}^M Q_i / \sum_{i=1}^N Q_i$, ($M \leq N$) - относительный вес радиоактивной примеси радионуклидов, определяющих загрязнение подстилающей поверхности; M - количество радионуклидов, определяющих аэрозольную составляющую радиоактивной примеси, N - общее количество радионуклидов радиоактивной примеси, включая ИРГ; $\lambda_s(t)$ - эффективная постоянная распада этой части примеси; $\lambda_s = 0,693/\bar{T}_s(t)$. $\bar{T}_s(t) = \sum_{i=1}^M T_i Q_i / \sum_{i=1}^M Q_i$ $\bar{T}_s(t)$ - усредненный период полураспада радиоактивной примеси, осевшей на подстилающую поверхность. Решение уравнения имеет вид;

$$\chi(x, y) = \beta(x, y) \int_0^{t_d} \alpha(t') q(x, y, z_0, t') \exp \left[- \int_{t'}^{t_d} \lambda_s(t'') dt'' \right] dt' + \chi_0(x, y) \exp \left[- \int_{t'}^{t_d} \lambda_s(t') dt' \right]. \quad (3.33)$$

Если пренебречь вторичным переносом, то после радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности ее радиоактивность будет изменяться в основном за счет радиоактивного распада. Следовательно, через время τ после прекращения процесса загрязнения радиоактивность подстилающей поверхности можно оценить по формуле $\chi_\tau(x, y, \tau) = \chi(x, y) \exp[-\lambda_s(\tau)\tau]$, в которой $\chi(x, y)$ определяется приведенным выше выражением. Выпадение радиоактивной примеси на подстилающую поверхность приводит к ее радиоактивному загрязнению. Поэтому мощность дозы подстилающей поверхности рассматривается как мощность дозы от бесконечного плоского неравномерно распределенного источника, которая с помощью интегрального метода оценки определяется по приведенной выше формуле, где индекс s относится к характеристикам подстилающей поверхности [13].

3.8. Выводы по третьей главе

В указанной главе рассматривался вопрос современных технологий создания

автоматизированных систем радиационно-экологического мониторинга окружающей среды типа АСКРО на действующих атомных электростанциях. Показаны цели, задачи и возможности, которыми обладают подобные системы при их использовании в качестве средств радиационного мониторинга или радиационного контроля окружающей среды при возникновении и развитии радиационных аварий на ОИАЭ. Системы АСКРО, кроме стандартных детекторов, измеряющих мощность дозы α , β , и γ -излучения должны иметь стандартное оборудование, измеряющее метеопараметры атмосферы (скорость ветра, температуру атмосферы и уровня земли, а также осадки и соляницу). Для повышения точности прогнозирования и оценки радиоактивного загрязнения окружающей среды эти метеопараметры должны измеряться либо с помощью современных средств (лидаров^{**}, содаров) или на метеомачте высотой не менее 40 м с применением методики градиентных наблюдений. Кроме того, в главе показано, что система АСКРО АЭС должна представлять собой систему постов контроля, содержащих необходимое и достаточное количество γ -детекторов, определяемое исходя из наихудших условий состояния устойчивости атмосферы, которые, несмотря на розу ветров в регионе расположения АЭС, должны размещаться равномерно по азимуту в пределах санитарно-защитной зоны и промплощадки АЭС, но на различных расстояниях от возможного источника радиоактивных выбросов. Последнее требование определяет реальную возможность оценки средне-эффективной энергии γ -излучения радиоактивной примеси, распространяющейся на ветру, выброшенной в атмосферу при радиационной аварии, по показаниям γ -датчиков АСКРО при полном отсутствии знаний о радионуклидном составе радиоактивной примеси. Такое расположение детекторов представляет собой, по сути, своего рода пространственный спектрометр, в котором каждый детектор, установленный на определенном расстоянии от источника излучения, измеряет

^{**} **Лидары** (LiDAR, от англ. Light Detection and Ranging) — это технология дистанционного зондирования, которая использует лазерные лучи для измерения точных расстояний и движения в окружающей среде в режиме реального времени. Устройство испускает лазерные лучи, которые отражаются от объектов и возвращаются к датчику. У света постоянная скорость, поэтому лидар может зафиксировать время, за которое луч вернулся, и рассчитать точное расстояние до объекта. **Содары** (ветровые профилемеры, аббревиатура от англ. SODAR — акустический детектор и дальномер) — метеорологический инструмент для измерения структуры вертикальной турбулентности и профиля ветра в нижних слоях атмосферы методом звукового зондирования. Принцип действия содаров подобен принципу работы радара, но вместо радиоволн используется звук. Прибор посылает звуковые волны в атмосферу и принимает их после отражения от слоёв с различной плотностью и скоростью движения воздуха

мощность дозы, создаваемую более узким спектром γ -излучения (за счет поглощения низкоэнергетического излучения в воздухе на больших расстояниях).

Математическое обеспечение, используемое для решения задач АСКРО основано на модели приземного слоя атмосферы Д.Л. Лайхтмана (РГГМУ) и использования уравнения турбулентной диффузии при эффективной высоте выброса радиоактивной примеси не более 300 м или модели пограничного слоя атмосферы при высоте выброса $\sim 1,5 - 2$ км. Математическое обеспечение, используемое для оценки средней энергии спектра γ -излучения радиоактивной примеси, распространяющейся в атмосфере или оседающей на подстилающую поверхность в результате радиационной аварии, по показаниям γ -детекторов мощности дозы автоматизированной системы АСКРО, сводится к решению уравнения Фредгольма первого рода с использованием численных итерационных методов.

Программное обеспечение при заданном состоянии устойчивости атмосферы позволяет получить семейство изолиний при радиоактивном загрязнении подстилающей поверхности, которое используется при решении задачи выбора оптимального пути следования из загрязненного района, если след радиоактивного облака покрывает населенный пункт. В этом случае, используя характер радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности и дорожную инфраструктуру, можно найти оптимальный путь следования из загрязненного района в чистую зону, основываясь на рекомендациях (НРБ) и применяя критерий минимальной дозы для населения, которую оно может получить при эвакуации из загрязненного района в условиях радиационных аварий. Уточнение расчетных характеристик радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности может быть осуществлено путем использования наземных мобильных средств радиационно-экологического контроля окружающей среды или беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), использующих для этих целей, специальное дозиметрическое оборудование.

ГЛАВА 4. Правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в Федеративной Республике Нигерия

Программы по безопасному включению окружающей среды в национальное развитие и защиту окружающей среды являются двумя наиболее неотложными задачами Нигерии. В Нигерии деградация окружающей среды продолжает оставаться основным препятствием на пути экономического развития, развития сельского хозяйства и проблем общественного здравоохранения. Вырубка лесов, вывоз промышленных отходов и мусора, загрязнение окружающей среды и глобальное потепление — вот лишь некоторые из этих проблем. Нормативные акты чаще всего используются для решения экологических проблем в большинстве стран мира. Однако с экономической и экологической точки зрения политика и механизмы реализации Нигерии не приносят желаемых результатов. У федерального правительства есть политика и рекомендации по защите экологии страны. Однако, поскольку эти правила плохо реализуются и неэффективны, кажется, что позиция Нигерии становится невидимой, несмотря на то, что она внедрила экологические законы и политику, направленные на улучшение состояния окружающей среды. Многое еще предстоит сделать с точки зрения управления и регулирования экологических проблем, с точки зрения укрепления институционального потенциала, контроля над населением и экономических мер.

Конституция 1999 года обеспечивает правовую основу экологической политики страны. Согласно статье 20, государство имеет право защищать и улучшать воду, воздух, почву, леса и дикую природу Нигерии. Согласно Закона об оценке воздействия на окружающую среду (Закон об ОВОС) 1992 года, проекты или мероприятия, как в государственном, так и в частном секторах экономики, должны учитывать окружающую среду перед их реализацией [81]. Вопросы окружающей среды являются предметом действующего законодательства и правил в Нигерии. Особенно это касается Конституции Нигерии (1999 г.). Статьи 12, 20, 33 и Статья 34 защищают окружающую среду и управляют ею. Право на землю и человеческое достоинство идут рука об руку с необходимостью создания безопасной и здоровой окружающей среды.

Концепция устойчивого экологического и экономического развития. Термин «устойчивое развитие» используется в экологическом лексиконе со времен Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году. «Устойчивое развитие» первоначально определялось как «модель движения вперед для удовлетворения жизненных потребностей современного общества», не лишая завтрашнее поколение таких же возможностей». Концепция устойчивого развития в самом широком смысле обеспечивает гармоничные отношения между людьми, обществом и окружающей средой. Чтобы решить социальные и экономические проблемы и сохранить благоприятную среду для сегодняшнего и завтрашних поколений, единственный способ их решения — это экономическое развитие страны, защита биотической системы, естественным образом контролирующей экосистемы, а также реализация политики по улучшению стандартов жизни для населения.

Переход Нигерии к устойчивому развитию может быть достигнут только за счет постепенной реализации принципов и рекомендаций, сформулированных ООН в Рио-де-Жанейро (1992 г.), а также за счет разработки законодательной базы, включающей усовершенствования существующего законодательства [82]. Экономический потенциал локальных и региональных экосистем страны требует оценки допустимого антропогенного воздействия, разработки четко структурированной системы устойчивого развития, установления лимитов ответственного использования финансовых ресурсов и разработки соответствующей методики. Переход к устойчивому развитию в Нигерии потребует времени и методических решений основных экологических, экономических и социальных проблем [83]. Ключевыми поворотными моментами станут решение сложнейших социально-экономических вопросов, связанных с оздоровлением окружающей среды, особенно на пострадавших от стихийных бедствий территориях, заметное озеленение регионов в ходе экономического развития, гармонизация взаимодействия мирового сообщества и природы и т.д.,

определяющая путь к устойчивому развитию стран [84]. Авторы работы [85] представляет концепцию экотуризма, которая направлена на то, чтобы сместить акцент с добывающей эксплуатации природных ресурсов, если они доступны в развивающихся странах, на экотуризм как жизнеспособную альтернативу экономической деятельности. По мнению автора работы, [84], существует четкая связь между «действиями местного сообщества по сохранению биоразнообразия» и долгосрочными экономическими преимуществами, связанными с экотуризмом [85]. Идея, безусловно, достойна внимания, но ее реализация будет зависеть от многих факторов, в том числе от благоприятного климата, наличия исторических мест и инфраструктуры, политического климата страны, дружелюбия местного населения и других элементов, которые помогут привлечь туристов и заставить их чувствовать себя желанными гостями в доме в принимающей страны. Никто не подумает поехать в отпуск туда, где его могут похитить и взять в заложники, как это часто бывает, например, в Нигерии [26, 86].

4.1. Государственные органы в области охраны окружающей среды

Федеральное министерство окружающей среды (FMENV) отвечает за реализацию природоохранного законодательства в Нигерии. Это означает, что законы признаются правительством для исполнения и подчиняются только административным распоряжениям. В 1999 году эту роль взяла на себя FEPA. Законы и процедуры рассмотрения отчетов об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС) получили широкую огласку [87]. Также опубликованы руководящие принципы по контролю воздействия конкретных производств на окружающую среду. DPR опубликовал руководящие принципы по контролю воздействия определенных отраслей промышленности на окружающую среду в Экологических руководящих принципах и стандартах для нефтяной промышленности в Нигерии [EGASPIN] 2002 года. Согласно Закону FEPA, каждый штат и муниципальное правительство имеют право создать свой экологический орган для защиты и улучшить окружающую среду штата. Каждый штат имеет право принимать законы по защите окружающей среды в пределах своих границ. В Федеральной столичной

территории Абуджи (Нигерия) применяются правила Совета по окружающей среде Абуджи, который занимается контролем твердых отходов, мониторингом окружающей среды с 2005 года. Подобную роль осуществляет LASEPA - агентство по охране окружающей среды штата Лагос. LASEPA не только контролирует управление отходами в штате Лагос, но также консультирует правительство штата по всем вопросам, связанным с политикой управления окружающей среды. Агентство по охране окружающей среды и управлению отходами (Агентство по охране окружающей среды и управлению отходами) в штате Аква Ибом, выполняя подобную роль, выявляет и предлагает решения экологических проблем в штате Нигерия, а также контролирует и обеспечивает соблюдение экологических стандартов и правил [87]. Во многих других штатах Нигерии есть аналогичные агентства с соответствующими правилами.

Национальное агентство по соблюдению экологических требований (NESREA) Регулирующим органом FMENV является NESREA (Закон NESREA 2007 г.). NESREA отвечает за соблюдение и реализацию всех экологических законов и постановлений в Нигерии, за исключением тех, которые относятся к нефтяной промышленности [88]. NESREA также отвечает за руководящие принципы, стандарты и управление. Она имеет право применять санкции к любому физическому или юридическому лицу, которое нарушает эти законы. NESREA также имеет право обеспечивать соблюдение любого международного соглашения, протокола, конвенции и национальных обязательств, стороной которых является Федерация. NESREA также представляет Нигерию в координации и общении с третьими сторонами как внутри, так и за пределами Нигерии. NESREA гарантирует, что экологические проекты, финансируемые поддерживающими учреждениями, соответствуют экологическим стандартам и правилам для надлежащего управления и защиты экосистем, биоразнообразия и освоения природных ресурсов Нигерии. NESREA проводит экологический аудит и занимается охраной экологических данных по окружающей среде, определяющих исходные природные данные, необходимые для сравнения естественных природных условий региона до и после

разработки нефтяных или газовых месторождений, проводимых той или иной организацией [82].

Национальное агентство по обнаружению и регулированию разливов нефти (НОСДРА). NOSDRA (Нигерийское агентство по обнаружению и ликвидации разливов нефти) было создано в 2006 году как агентство при FMENV (Федеральном министерстве окружающей среды) на основании Закона № 15 от 2006 года (NOSDRA-Act No. 15) [89]. NOSDRA отвечает за регулирование загрязнения нефтью в дельте Нигерии и прилегающих районах. Агентство создает эффективную национальную оперативную структуру, которая позволит ему эффективно и действенно реагировать на разливы нефти. Оно также разрабатывает планы мониторинга для уменьшения локального загрязнения нефтью в районе Дельты. Сбор информации о разливах нефти и планирование мер реагирования для защиты окружающей среды региона Нигерии от загрязнения нефтью. Обеспечение соблюдения и мониторинга экологического законодательства для регулирования нефтяной промышленности. Координация очистки от опасных веществ при добыче нефти и содействие региональному сотрудничеству между государствами-членами Западной Африки [89].

Департамент нефтяных ресурсов (ДНР - DPR). Департамент нефтяных ресурсов (DPR) является органом экологического регулирования Национальной нефтяной корпорации Нигерии (NNPC). DPR был создан для надзора за нефтегазовой деятельностью в Нигерии и обеспечения соблюдения нефтегазовыми предприятиями экологических норм и законов [90]. ДНР контролирует деятельность нефтегазовой отрасли на предмет соблюдения экологических норм и действующего законодательства. ДНР также обрабатывает заявки на получение лицензий для проверки соблюдения установленных правил. ДНР дает рекомендации Миннефти и консультирует правительство, а также другие соответствующие органы по техническим вопросам, связанным с мониторингом и контролем нефтяной промышленности [90]. Кроме того, ДНР собирает, обрабатывает и хранит документы, связанные с нефтегазовыми операциями. ДНР

стоит на страже законов по безопасности и охране окружающей среды, обеспечивая соблюдение национальных, международных стандартов и стандартов нефтяной промышленности. Агентство отмечает, что существующий механизм контроля недостаточно эффективен из-за официальной коррупции и методов решений экологических проблем, возникающих в Нигерии, которые не реализуются в интересах государства.

4.2. Экологическая стандартизация и правоприменение

Природоохранные органы Нигерии обладают широкими полномочиями, когда дело доходит до нарушения экологических законов и разрешений. Согласно FEPA, они имеют право проверять и получать копии лицензионных разрешений, сертификатов или любого другого необходимого документа. Любой, у кого есть достаточная причина для нарушения Закона или любого его положения, может быть арестован [91]. Эти органы также могут конфисковать любой предмет или вещество, использованное для совершения этого преступления. Министр труда и жилищного строительства может опечатать место или зону, используемую для сброса или утилизации опасных отходов в соответствии с Законом об опасных отходах. В соответствии с разделом 37 Закона о нефти 1969 года держатели нефтяных лицензий или лицензий на разведку нефти обязаны обеспечивать соблюдение владельцами Правил бурения. Правила бурения также позволяют инспекторам осматривать имущество [92]. Закрытие предприятия-загрязнителя/нарушителя до тех пор, пока не будут соблюдены необходимые правила [91, 92]. Важно отметить, что данные ограничения неэффективны, поскольку работники этих предприятий вступают в сговор с операторами с целью обойти правила в свою пользу, подвергая местное население серьезному риску нанесения экологического ущерба [93].

4.3. Экологическая экспертиза и ОВОС

Экспертиза является важнейшим видом профилактического экологического контроля, являющимся частью законодательной базы управления и охраны окружающей среды. Предварительная оценка воздействия на окружающую среду

проектов, как государственных, так и частных, разрешена Законом об ОВОС. Подготовка отчета об ОВОС, в котором описываются потенциальные экологические последствия события и меры по предотвращению или смягчению этих воздействий, является юридической обязанностью любой организации, которой поручено заниматься оценкой проекта или деятельности, которая может оказать воздействие на окружающую среду [93]. Небрежное отношение к подобным вопросам является преступлением, которое может привести к судебному преследованию, если будет обнаружено нарушение требования Закона об ОВОС. При этом Экологические агентства используют ряд методов, в рамках которых отдельные персоны или организации, игнорирующие требования ОВОС, касающиеся экологических проблем региона, могут быть оштрафованы за возможный экологический ущерб [94].

Предприятия также создают материалы, информирующие общественность о запрете на загрязнение окружающей среды и мерах наказания, которые будут приняты в случае нарушения этих ограничений, а также рекомендации по оценке экологических последствий и их допустимых пределов для различных отраслей промышленности [93]. Инспекции загрязняющих предприятий необходимы для проведения экологического аудита и ОВОС. По закону каждый крупный проект должен подготовить отчет об оценке воздействия на окружающую среду (ОВОС), одобренный Агентством по охране окружающей среды Нигерии и FMENV. Кроме того, ДНР должна предоставить необходимое экологическое разрешение для проектов, связанных с нефтью и газом. Таким образом, до тех пор, пока организация, представляющая этот проект, не будет одобрена в ОВОС, ни одно федеральное правительство, правительство штата или муниципальное правительство, или какое-либо из их агентств не должно осуществлять какие-либо полномочия или выполнять какие-либо обязанности или действия, которые позволили бы реализовать такой проект. Но ситуация в Нигерии настолько искажена, что одни и те же чиновники регулирующих органов – в частности, DPR и FMENV – могут осуществлять эти проекты, не требуя ОВОС. Из-за несоблюдения общепринятых норм и законов в таких проектах происходили аварии, создавая значительный экологический ущерб и, наконец, человеческие жертвы.

4.4. Экологический риск и зоны повышенного экологического риска

Экологический риск — это оценка вероятности неблагоприятных изменений в окружающей среде, вызванных деятельностью человека или других видов деятельности. Это вероятностная мера риска нанесения ущерба ситуации в виде возможных потерь с течением времени. Сырая нефть является основной базой экономики Нигерии, а также причиной значительных экологических и социальных проблем в дельте реки Нигер в Нигерии. Разведка, добыча и переработка нефти в Нигерии привели к различным экологическим проблемам на протяжении многих лет, (см., например, рис. 4.1- 4.3) [95, 96]. Разлитая нефть влияет на продуктивность почв и загрязняет водные объекты, нанося непоправимый ущерб сельскохозяйственным угодьям, а также водной флоре и фауне (см. Рис. 4.1).



Рис. 4.1. Сырая нефть вымывается после протечки трубопровода Шелл в сообществе Олома в дельте реки Нигер [97]



Рис. 4.2. Экологический ущерб, вызванный бункеровкой нефти (незаконные нефтеперерабатывающие заводы) в Нигерии [98]



Рис. 4.3 а, б. Дым от гигантских вспышек при выбросах попутного газа парит над Эбоча-Эгбема в Нигерии.

В результате незаконной бункеровки нефти в окружающую среду попадает значительное количество бензина и нефти, нанося вред растительности и живым организмам. В большинстве случаев взломы трубопроводов происходят в изолированных районах, где нефтяные компании вряд ли увидят граффити на трубах. В результате нефть просачивается в окружающую среду в течение нескольких месяцев, прежде чем нефтяные компании проведут расследование. Еще одной значимой проблемой экономики и экологии страны является сжигание газа на факелах (см. рис. 4.3 а, б).

Отчет об исследовании тенденций в стране за 2003 год по Нигерии показывает, что страна сжигает 2,5 миллиарда кубических футов попутного газа в день, что составляет 40% всего природного газа, потребляемого на африканском континенте, а также является крупнейшим источником выбросов парниковых газов на планете. Это негативно влияет на социально-экономические активы местных сообществ, прежде всего на рыболовство и сельское хозяйство [98, 99]. Каждый год миллионы долларов теряются в Нигерии, крупнейшем экспортере сырой нефти в Африке, поскольку нефтегазовые корпорации сжигают природный газ, образующийся в процессе добычи. Этот вредный метод производит больше выбросов парниковых газов, чем любой другой источник в Африке, что приводит к

долгосрочным проблемам со здоровьем и окружающей средой для большого количества населения, проживающего в нефтедобывающих регионах Нигерии [100]. Помимо выше упомянутых экологических проблем, террористические группы в этом районе также угрожают сотрудникам и имуществу нефтяных компаний [26, 86]. Известно, что террористы взрывают нефтяные установки с помощью взрывчатки, вызывая массовые выбросы загрязнения окружающей среды [99].

Например, в 2014 году экологическая группа сообщила, что нефтепровод в дельте реки Нигер в Нигерии взорвался во время ремонтных работ, в результате чего погибли три человека. Еще один взрыв трубопровода, устроенный национальной нефтяной корпорацией Нигерии, произошел недавно в Лагосе, серьезно повредив окрестности и унеся несколько жизней. Такие несчастные случаи или террористические акты, несомненно, усугубляют деградацию окружающей среды в регионе [97] и подрывают доверие общества к политическим системам.

Водоемы Нигерии являются основным источником загрязнения в результате сброса промышленных отходов. В настоящее время водные объекты содержат более высокие концентрации соединений тяжелых металлов, сульфатов и нитратов из-за сбросов таких предприятий, как горнодобывающая, нефтяная, металлургическая, текстильная и фармацевтическая промышленность [101, 102]. Эти соединения делают почву и воду более токсичными, что, в свою очередь, приводит к отравлению и гибели рыбы (см. рис. 4.4) и других водных видов и, в конечном итоге, населения.

Большая часть жителей Нигерии, особенно в сельских районах, получают значительную часть своей домашней и питьевой воды из прудов, ручьев и неглубоких колодцев. Таким образом, загрязнение воды является серьезной проблемой для населения, которая воздействует на здоровье более чем 40 миллионов человек, и создает угрозу таких заболеваний, как холера, дизентерия, диарея и брюшной тиф [102]. Национальное агентство по обнаружению и

реагированию на разливы нефти (NOSDRA) 24 мая 2020 года, заявило, что результаты исследований погибшей рыбы, засоряющей Атлантическое побережье (см. рис. 4.4), указывают на высокий уровень токсичности, вызванный сбросом токсичных отходов [103]. По данным агентства вредные соединения могут попасть в Атлантический океан, поскольку бытовые и промышленные отходы попадают в водоемы, расположенные вдоль береговой линии.

Большая часть отходов, образующихся в результате коммерческой и бытовой деятельности, попадает в канализацию и содержит соли тяжелых металлов (кадмий, железо, цинк и медь), а затем транспортируется в водоемы, где оказывает неблагоприятное воздействие на здоровье человека, а также на водное биоразнообразие. Недостаточная переработка твердых бытовых отходов вызывает серьезные экологические и эстетические проблемы в большинстве городских районов Нигерии.

Перенаселение и развитие трущоб привели к тому, что большинство муниципальных районов производят больше отходов, чем можно утилизировать [104]. Это привело к скоплению «мусорных свалок» в нескольких районах, которые блокируют автомагистрали и мешают людям передвигаться по переулкам или ходить по тротуарам. Наиболее распространенным методом утилизации отходов в Нигерии является сжигание, которое также помогает перемещать отходы из одного места в другое. Другой вариант - перенести мусор из зоны с более высокой эстетической ценностью в зону с меньшей эстетической ценностью. Производя химические вещества, вредные для здоровья человека, такие как окись углерода, диоксид серы, оксиды азота, галогенированный углерод и другие твердые частицы, сжигание отходов способствует загрязнению воздуха [104].

4.5. Экологический мониторинг, планирование и контроль.

Мониторинг – это процесс наблюдения, оценки и прогнозирования состояния окружающей среды. Термин «наблюдение» происходит от принципа непрерывного наблюдения. Государство отвечает за экологический контроль, включая мониторинг. Основной целью мониторинга является наблюдение состояния и уровня загрязнения окружающей среды [105]. Своевременная оценка воздействия

деятельности человека на окружающую среду, здоровье человека и биоразнообразие не менее важна, чем оценка эффективности природоохранных мероприятий. Однако мониторинг выходит за рамки простого наблюдения и сбора данных, представляя собой экологический контроль окружающей среды, который включает экспериментальное моделирование и прогнозирование состояния окружающей среды, а также разрабатывает методы, позволяющие оптимизировать антропогенное воздействие на окружающую среду. Такой метод решения экологических проблем предполагает сбор и обработку данных, осуществляемую на регулярной основе. Он определяет экологическое состояние окружающей среды, а также социальные и экономические последствия для здоровья человека и решает экологические проблемы, возникающие в результате нефтегазовой деятельности.

Экологические индикаторы в основном используются для обмена информацией об окружающей среде и антропогенной деятельности. При мониторинге окружающей среды лучше всего сосредоточиться на наиболее значимых экологических факторах. Например, в процессе ОВОС это означает взаимодействие с широкой общественностью и участие в представлении информации мониторинга, что является важной обязанностью, помогающей широкой общественности понять, насколько важно делиться этой информацией [106,107]. Первым шагом к разработке эффективной системы мониторинга окружающей среды является определение того, какие элементы наиболее целесообразно использовать при общении с широкой общественностью. Окружающая среда, включая атмосферу, гидросферу, флору и фауну, а также биосферу, которая служит домом для всего человечества, подлежит глобальному надзору. ВМО (Всемирная метеорологическая организация) и ЮНЕП (Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде) образуют основу для создания и координации глобального мониторинга окружающей среды. Основные цели этой программы включают: создание более широкой системы информирования о рисках для общественного здравоохранения, оценку воздействия загрязнения воздушной среды на климат, расчет и распределение количества загрязнения в биологических

системах (особенно в пищевых цепочках) и оценку критических проблем, возникающих в результате землепользования в сельском хозяйстве, а также оценку того, как наземные экосистемы реагируют на воздействие окружающей среды и, кроме того, оценку загрязнения морской акватории и его воздействия на океан, а также создание системы предупреждения о стихийных бедствиях в международном масштабе. Таким образом, чтобы защитить население Нигерии от антисанитарии, эпидемий, техногенных аварий и их глубоко негативных последствий, иметь чистую и безопасную окружающую среду, прежде всего, необходимо придерживаться этой концепции.

Экологическая политика Нигерии основана на принципе борьбы с загрязнением окружающей среды. Это подразумевает дорогостоящие инициативы и постоянный выбор политики. Некоторые заинтересованные стороны, сообщества с низкими доходами и малый бизнес в финансовом секторе рассматривают охрану окружающей среды как дорогую роскошь, требующую чрезмерных ресурсов [102]. Согласно этой логике, игнорирование экологических проблем может привести к серьезным финансовым и экономическим последствиям. Нормативные акты являются предпочтительной основой для решения экологических проблем в большинстве стран мира. Но ни окружающая среда, ни экономика Нигерии не получили выгоды от экологической политики Нигерии или того, как она реализуется. Усилия по экологическому планированию в Нигерии восходят к началу 1900-х годов, когда колониальные правительства реализовали усилия по защите окружающей среды посредством колониальных законов. Политика экономического развития колониальных правительств была ограничена отсутствием нормативной базы для предотвращения деградации окружающей среды, которая была в основном сосредоточена на контроле распространения болезней. Штрафы, налагаемые на нарушителей в то время, были очень мягкими и, к сожалению, плохо соблюдались [91].

Группа, включающая несколько федеральных министерств, была создана в 1964 году с целью исследования проблем, связанных с загрязнением воды, и созда-

ния подходящего законодательства, которое приведет к принятию Федерального закона об очистке воды. Экспертный комитет Национального совета здравоохранения по гигиене окружающей среды был создан в 1970 году, что стало еще одним важным поворотным моментом в экологическом планировании Нигерии. Однако отсутствие точных научных стандартов, а также отсутствие пороговых значений загрязнения и токсичных отходов определили первые годы институционального управления окружающей средой в Нигерии. Более того, отличные правовые стандарты были основным фактором обеспечения соблюдения фундаментальных принципов гигиены дома и окружающей среды [108]. До недавнего времени бюджет экологического сектора составлял менее 2% национального государственного бюджета, что является рекордно низким показателем. Наиболее формальные ассигнования на природоохранные операции зафиксированы в конституции 1999 г., которая увеличила размер Счета Федерации с 1% в 1991 г. до 3% в 1999 г. в качестве экологического фонда на случай стихийных бедствий, таких как наводнения и эрозия [109]. К сожалению, в Нигерии все еще сложнее использовать эти деньги для продвижения экологической политики.

Набор процедур, предназначенных для обнаружения, предотвращения и минимизации нарушений экологического законодательства, известен как экологический контроль или контроль в контексте защиты окружающей среды. Ужасные сигналы проникли в цивилизацию, утверждая, что неконтролируемое загрязнение окружающей среды является постоянным маршем человечества к самоуничтожению. Небрежное отношение людей к защите окружающей среды видно со стороны. Но создание, управление и внедрение экологических стандартов ведут к созданию более безопасной и чистой окружающей среды. За соблюдением правил следят NESREA, FEPA и другие государственные организации по охране окружающей среды (SEPAS). В настоящее время стандарты экологического контроля применяются к шуму, эрозии, наводнениям, напиткам и табаку, фармацевтическим препаратам, химикатам, электротехнике, электронике, санитарии и выбросам в воздух. Существуют также правила, касающиеся

загрязнения, аварий, отходов, воздуха, почвы, поверхностных и грунтовых вод, которые представляют собой загрязнение окружающей среды.

Загрязнение воздуха, загрязнение воды, загрязнение земель, промышленное шумовое загрязнение, городское шумовое загрязнение, тепловые выбросы, стихийные бедствия, аварии на промышленных предприятиях, автомобильном транспорте и т. д. – все это источники загрязнения окружающей среды. Без контроля загрязнения отходы, образующиеся в результате производства, добычи полезных ископаемых, сельского хозяйства и другой деятельности человека, будут ухудшать окружающую среду. Два метода, которые в наибольшей степени способствуют контролю загрязнения: минимизация отходов и предотвращение загрязнения. Производственный экологический контроль обеспечивает соблюдение предприятием экологического законодательства при осуществлении своей деятельности [13]. Компании могут избежать штрафов, налагаемых государственным экологическим контролем, соблюдая экологические законы. В последние годы появился новый метод производственного контроля – экологический аудит. Экологический аудит – это беспристрастная, тщательная проверка (аудит) деятельности предприятия на предмет ее соответствия экологическим стандартам и нормам [13]. Целью экологического аудита является выработка рекомендаций по смягчению негативного воздействия на окружающую среду и улучшению здоровья населения.

В задачи экологического аудита входят: прогнозирование экологических рисков и ущерба, измерение различных параметров окружающей среды, обследуемый объект и окружающая среда, рекомендации по экологическому аудиту. Также анализируются бухгалтерские записи экологических показателей.

Кроме того, при строгом соблюдении дополнительные шаги, предложенные в важнейших областях, которые выделены как часть экологического планирования и контроля, помогут Нигерии избежать текущих нарушений и деградации окружающей среды. Неконтролируемый рост населения в Нигерии (со 120 миллионов в 1970 году до 201 миллиона в 2020 году и прогнозируемым уровнем в

400 миллионов в 2050 году) является серьезным препятствием на пути реализации законов экологического планирования в стране. Этот неконтролируемый рост населения приводит к увеличению количества бытовых отходов и сокращению естественного лесного покрова. Нигерии необходимо управлять своим ростом населения, не планируя осуществлять это любой ценой, чтобы избежать менталитета выживания, который поощряет деятельность по загрязнению окружающей среды только для того, чтобы обеспечить их выживание.

Невежество: Еще одним серьезным препятствием на пути реализации законов об экологическом планировании в Нигерии является невежество. Незнание – вот что определяет низкую осведомленность об экологических законах среди населения Нигерии. Низкую осведомленность населения Нигерии об экологических законах можно объяснить тем фактом, что грамотные и неграмотные слои общества не осведомлены об экологических законах. Немногочисленные учёные Нигерии не способны адекватно отреагировать на требования народа Нигерии избежать экологической катастрофы, которая повлияет на народ Нигерии в будущем. Незнание закона не является оправданием нарушения законов об экологическом планировании. Существует острая необходимость проведения непрерывной идеологической кампании «Защити окружающую среду» с привлечением жителей страны в качестве участников. Также назрела необходимость развития системы образования, системы взглядов на экологизацию населения (образование в целом и образование в области экологии), развитие соответствующих областей науки и техники.

Ограниченность правовой базы: конституция в основном ничего не говорит о вопросах, касающихся окружающей среды, несмотря на намеки на фундаментальные права и защиту граждан. Однако, поскольку они не гарантируют право на здоровую окружающую среду или право на владение жильем, законодательство, направленное на охрану окружающей среды, часто лишено последовательности и не упоминает фундаментальные права человека. Поэтому маловероятно, что организации или население, безобразно относящееся к загрязнению окружающей

среды, столкнутся с последствиями. Это привело к неограниченному загрязнению окружающей среды Нигерии и ухудшению ее качества. Защита окружающей среды должна быть усилена экономически и юридически, и это включает в себя полную реализацию Закона о нефтяной промышленности 2021 года (PIB-PIA), недавно принятого закона Национальной ассамблеи, который лежал мертвым грузом в течение многих лет, прежде чем он в конечном итоге был подписан президентом.

Институциональные препятствия: правила экологического планирования реализуются далеко не эффективно из-за того, что во многих федеральных, государственных и местных законах отсутствует последовательная нормативная база. В результате экологические правила и положения в Нигерии часто нарушаются. Например, различные департаменты, строго говоря, не имеющие непосредственного отношения к охране окружающей среды, например, такие как департаменты Землеустройства, Градостроения и Здравоохранения, отвечают за охрану окружающей среды на уровне штата и местного самоуправления. Обременительная и бесплодная их деятельность, касающаяся охраны окружающей среды, дублируется, поскольку нет четкого описания обязанностей каждого департамента, и, как следствие, нет четкого разграничения между многочисленными группами, обеспечивающими соблюдение экологических норм. Гармонизация этих правил с четкими указаниями для всех ведомств решит эту проблему для страны.

Неадекватность оценки воздействия на окружающую среду: закон об оценке воздействия на окружающую среду требует проведения анализа этого воздействия при выполнении всех крупных проектов и до тех пор, пока требования этого закона не будут выполнены реализация проекта не возможна. Однако, вопреки требованиям этого закона, никаких значимых действий при выполнении всех крупных проектов не предпринимается. Результаты проверок, как правило, всегда оказываются безупречными, но в некоторых случаях, для получения удовлетворяющих результатов, власти используют взятки. Нация должна решить эту серьезную проблему, а виновные офицеры должны понести суровое наказание.

Коррупция. Национальная система коррупции, которая включает в себя бюрократов, совершающих преступные действия или помогающих им в корыстных целях, имеет глубокие корни и влияет на то, как реализуются экологические законы на федеральном, государственном и муниципальном уровнях. Посещение мест, которые могут показаться защитникам природы более выгодными с финансовой точки зрения, часто имеют для них большее значение. Даже когда правоохранительным органам становится известно о нарушении правил экологического планирования, преступник зачастую остается безнаказанным. Результатом стало устойчивое снижение и деградация качества окружающей среды в Нигерии, что, несомненно, требует немедленных действий со стороны правоохранительных органов [21]. Для решения этих проблем необходимо законодательство, применимое в некоторых странах, чтобы объявить взяточничество и злоупотребление властью незаконными и требующими наказания. Для привлечения к ответственности такого персонала должны быть созданы специальные суды, которые будут функционировать в течение короткого периода времени.

Умышленное невыполнение промышленными предприятиями (природопользователями) стандартных мер защиты. Еще одной серьезной проблемой, требующей решения, является умышленное несоблюдение природопользователями промышленными предприятиями стандартных мер защиты. Например, многие предприятия (в том числе зарубежные), реализующие экологические проекты, избегают всех процедур по обеспечению чистой окружающей среды. Иногда они даже предпринимают шаги для ускорения завершения этих проектов, но намеренно задерживают завершение или предлагают взятки за завершение проектов. Это усугубляет трудности агентств-исполнителей, поскольку вместо принятия решений и инвестирования больших денег проекты реализуются медленными темпами из-за крайне недобросовестной практики. Вмешательство антикоррупционных органов и связанных с ними регулирующих органов с целью мониторинга и наказания этих предприятий или индивидуальных предпринимателей может помочь решить эти проблемы. Возможно, с внедрением

всех подобных методов и соответствующих средств для населения Нигерии может наступить «золотое» время.

4.6. Экономический механизм охраны окружающей среды

4.6.1. Методы экономического регулирования

Одним из способов преодоления экологического кризиса в Нигерии является развитие, а также совершенствование экономических и экологических механизмов; до недавнего времени страна не имела эффективных экономических рычагов поддержки охраны окружающей среды и рационального использования ресурсов. В России сейчас существует финансовый механизм защиты окружающей среды, и он работает эффективно, непосредственно в направлении рыночной экономики с соответствующими критериями перехода к рыночной экономике. Главной особенностью этого механизма являются не плановое централизованное финансирование из государственного бюджета, а преимущественно экономические методы регулирования [13]. Уникальная структура этого механизма объединяет современные финансовые методы с ранее существовавшими нормами (например, запасами природных ресурсов и логистикой). Важно провести экономический анализ воздействия финансовой и иной деятельности на окружающую среду. Сюда входят налоговые льготы, кредиты и другие стимулы для внедрения нетрадиционных источников энергии и малоотходных/ресурсосберегающих технологий, а также другие эффективные экологические меры по компенсации ущерба, нанесенного окружающей среде и здоровью населения. Новый экономический механизм призван сделать охрану окружающей среды неотъемлемой частью производственной и коммерческой деятельности, чтобы все руководители предприятий и владельцы предприятий были заинтересованы в защите окружающей среды. Принятие таких подходов к решению проблемы защиты окружающей среды, а также использование и реализация этого механизма обеспечат чистую и безопасную окружающую среду в Нигерии.

4.6.2. Лицензии, контракты и ограничения на управление окружающей средой

Поскольку природные ресурсы всегда конечны, правильный способ использования природных ресурсов и окружающей среды - это их защита и использование для создания хорошей экономической и экологической ситуации для нынешнего и будущих поколений. При таком подходе приоритет отдается экологическому учету, управлению и контролю. Финансовые инструменты, такие как контракты, лицензии и ограничения, полезны для сохранения окружающей среды и обеспечения разумного использования природных ресурсов. Лицензия на комплексное управление окружающей средой (иногда называемая разрешением) - это юридический документ, который удостоверяет право владельца на использование, добычу и распоряжение природными ресурсами (такими как земля, вода и минеральные ресурсы) в течение установленного периода, а также по устранению отходов, выбросов и сбросов. Лицензия включает перечень используемых природных ресурсов, а также ограничения и рекомендации по их добыче и потреблению. Он также включает в себя набор правил и положений по выбросам и удалению отходов, а также законодательство, касающееся оплаты таких выбросов и захоронений. В лицензию также включены экологические нормы и ограничения, разрешающие определенные виды деятельности (например, экономическую деятельность), а также регулирующие сборы за охрану и приумножение природных ресурсов [13]. Министерство окружающей среды и нефти выдает лицензию сроком на один год., но в силу определенных обстоятельств лицензия может быть отозвана, если будет обнаружен риск для безопасности населения в окружающей среде. Лицензия важна не только как средство защиты окружающей среды, но и как один из способов регулирования природопользования. Принципы «неисчерпаемости» природы, природных ресурсов и защиты природной среды можно соблюдать только при комплексном природопользовании. Поэтому после прохождения соответствующей экспертизы на планируемую деятельность и получения лицензии природопользователь должен дать согласие на комплексное использование природных ресурсов.

Примеры ограничений природных ресурсов включают ограничения на использование природных ресурсов, сбросы загрязняющих веществ и управление отходами, закрепленные за природными предприятиями в течение определенного периода. Например, они устанавливают нормативы отвода земель под строительство дорог, лимиты на промышленное водопользование, допустимые лимиты вырубki лесов и т.д. Чрезмерное использование природных ресурсов облагается дополнительными сборами. Таким образом, стандарты действуют как набор мер экологического контроля, которые с помощью финансовых ресурсов способствуют охране окружающей среды со стороны пользователей природных ресурсов, сокращению отходов и выбросов загрязняющих веществ, а также переходу к малоотходным и ресурсосберегающим технологиям. Отсюда следует, что лимиты, лицензии и соглашения по комплексному природопользованию работают не только экономически, но и экологически.

4.6.3. Экономические стимулы в области охраны окружающей среды

Сборы и налоги используются в качестве экономического инструмента в экологических законах и постановлениях Нигерии [110]. Смысл этих платежей заключается в том, что они стимулируют компании и отдельных производителей сокращать деятельность, наносящую вред окружающей среде, включая образование отходов, чрезмерное потребление природных ресурсов и выбросы промышленных газов в атмосферу. Предлагаемые сборы включают плату за выбросы газов в атмосферу и за сбросы промышленных отходов, таких как сточные воды, в реки или морские воды [110, 111]. Плата за выбросы может рассчитываться на основе количества и/или качества загрязняющих веществ. Например, производители отрасли будут обязаны ограничить выбросы, такие как попутный газ, от операций по добыче нефти в Нигерии. Компании тратят больше денег, чем больше они занимаются деятельностью, наносящей вред здоровой окружающей среде [110, 111]. Аналогичным образом, компании должны иметь доступ к налоговым льготам и освобождению от сборов, чтобы покрыть расходы на новые

инвестиционные инициативы по повышению эффективности использования природных ресурсов и сокращению выбросов.

В Нигерии целесообразно выступать за продолжение действующей программы NESREA Green Label, проводимой ежегодно с целью обеспечения наилучших экологических показателей для предприятий, обеспечивающих экологические выгоды [110, 111]. Также рекомендуется применять к таким субъектам дополнительные налоговые льготы или временное освобождение от уплаты сборов, либо в качестве поощрения индивидуальным предпринимателям вместо этого вручать специальные сертификаты. Следует также поддержать соответствующую пропаганду перехода к использованию налогового законодательства для создания стимулов для экологически чистых отраслей и видов деятельности, а также для сдерживания процессов, которые считаются вредными для окружающей среды [112].

4.7. Выводы по четвертой главе

Таким образом, согласно исследованию, проведенному в рамках этого проекта, основные экологические проблемы в Нигерии включают утилизацию твердых отходов, деградацию земель, загрязнение, наводнения, эрозию, опустынивание, расточительное потребление энергии, сокращение биоразнообразия, экологические катастрофы и вырубку лесов. Процесс экономического роста, особенно в нефтегазовом секторе, приводит к усилению вырубки лесов, эрозии почв, утрате естественной среды обитания, исчезновению видов и сокращению биоразнообразия. Кроме того, быстрый рост населения, ограничительная правовая система, пораженная задержками и коррупцией, отсутствие достаточного финансирования, плохая оценка воздействия человеческой деятельности на окружающую среду и преднамеренное пренебрежение необходимыми защитными мерами являются основными препятствиями на пути обеспечения соблюдения экологического законодательства и усилия по сохранению в Нигерии [112].

В этой работе рекомендуется строго придерживаться юридически закреплённой идеи «загрязнитель платит». Из-за этого развитие промышленности или сельского хозяйства, например, требует больших площадей, получить которые

можно только путем уничтожения естественных лесов. Экономическая деятельность также требует этих территорий, но хотя они и противоречат друг другу, выбор одного из них не является правильным выбором, поскольку отсутствие промышленности и развитого сельского хозяйства может вызвать социальные волнения и даже бунты из-за голода, а также нарушение экологической системы, баланс в природе, вызванный неосторожным уничтожением лесов, может привести к массовым заболеваниям типа современных пандемий, которые создают угрозу прямого вымирания значительной части населения. Поэтому только баланс того и другого может дать видимый экономический эффект, а не предпочтение одного из них. По сути, это большая научная задача оптимизации целевой функции многих переменных, в результате которой должно быть получено некоторое оптимальное решение, удовлетворяющее интересам бизнеса, населения, государства в целом, а также решение экологических проблем. Поскольку невозможно устранить все следы загрязнения окружающей среды без одновременной остановки всей хозяйственной деятельности, для окружающей среды необходимы критерии, которые бы регулировали эти процессы. Загрязнение окружающей среды и связанные с ним социальные и экономические издержки больше нельзя игнорировать и предполагать, что они исчезнут сами собой по мере экономического развития. Благополучие окружающей среды является важным компонентом нашего общества. Исходя из этого, общество выступает за необходимость принятия сбалансированного экономического подхода и постоянной ориентации (кампании по охране окружающей среды) местного населения через создание соответствующих методов образования и обучения для решения экологических проблем и достижения устойчивого развития [112]. Мы, жители настоящего времени, обязаны следующему поколению чистой окружающей средой и постоянным снабжением Земли ресурсами, помня, что эти ресурсы, которые мы используем сегодня, мы вверяем следующему поколению.

ГЛАВА 5. Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии

Серьезным препятствием на пути глобального сотрудничества является сохранение возобновляемых природных ресурсов, таких как продукты питания, земля, атмосфера и вода. Эта проблема связана с нехваткой энергии и явлением глобального потепления, которое, в свою очередь, влияет на окружающую среду, приводя к кризису, который требует коллективного глобального реагирования для решения различных местных, национальных и международных проблем. Это сотрудничество может быть достигнуто, если несколько заинтересованных стран объединятся и договорятся об общих целях, задачах, стратегиях решения проблем и ожидаемых результатах. После этого создается подробный план и проект реализуется, включая установление международных экологических стандартов в рамках сотрудничества.

Пока загрязнение окружающей среды продолжается, наиболее эффективным способом продвижения вперед является координация глобальных усилий, поскольку международное общение обеспечивает уникальную платформу для сбора и обмена специализированными знаниями и соответствующими ресурсами [113]. Благодаря такому сотрудничеству легко приобретаются реальные ресурсы, такие как знания, финансы и опыт. Важно отметить, что экономический рост развитых стран и, с другой стороны, значительное снижение уровня жизни коренного населения приводит к резкому сокращению численности людей, занятых в сельском хозяйстве в развивающихся странах (см. рис. 5.1). Это явление наблюдалось во всем мире в двадцатом веке; резкий рост урбанизации и, как следствие, обострение социальных (растет уровень преступности; см. рис. 5.2) и экологических (в частности, вырубка тропических лесов, см. рис. 5.3), распространение антисанитарных условий и т. д. [26, 94, 112]. Ухудшение финансового положения местного населения, занятого в сельском хозяйстве, приводит к тому, что оно вынуждено продавать свои земельные наделы, поскольку оно не может конкурировать с крупными землевладельцами. Они переезжают в город и становятся частью городского населения. Однако у них нет необходимого

образования, чтобы устроиться на работу или снять достойное жилье в городе. Поэтому они селятся в городских трущобах (макоко) Нигерии (см. Рис. 5.4).



Рис. 5.1. Диаграмма занятости местного населения в сельском хозяйстве [114]



Рис. 5.2. Диаграмма роста преступности в Нигерии [114]



Рис. 5.3. Диаграмма сокращения лесных угодий в Нигерии [114]

Это увеличивает и без того высокий уровень безработицы в городе, а также экологическую и социальную нагрузку (см. рис. 5.4). На средства к существованию коренных народов в этих развивающихся странах также влияют экологические проблемы, особенно ущерб, нанесенный окружающей среде в результате бесконтрольной индустриализации и добычи ресурсов. Такое «освоение» регионов некоторых развивающихся стран требует срочных действий в контексте глобального сотрудничества, поскольку может привести не только к экологическим проблемам в этих регионах, но и к неблагоприятным социальным последствиям.



Рис. 5.4. Макоко в Нигерии. Макоко около столетия тому назад был рыбацким поселком, который основали выходцы из соседнего Бенина. В настоящее время население трущоб составляют рабочие мигранты со всей Западной Африки

Международное сотрудничество в области охраны окружающей среды основано на нескольких согласованных нормах международного права, посвященных защите окружающей среды.

Оно уникально тем, что основано на принципе, согласно которому ни одно государство не должно разрешать использование своей территории таким образом, чтобы поставить под угрозу использование территории другого государства [115]. С тех пор вступило в силу несколько обязательных международных договоров,

охватывающих широкий круг вопросов, таких как биоразнообразие и защита дикой природы, загрязнение воздуха, моря и земли, а также ратификация Конвенции Организации Объединенных Наций о биологическом разнообразии (КБР), ООН. Рамочная конвенция об изменении климата (РКИК ООН) и Декларация принципов управления лесным хозяйством. Главными событиями и конституционными моментами ООН в 1990-е годы стали Конвенция ООН 1972 года об окружающей среде в Стокгольме и Конференция ООН по окружающей среде и развитию 1992 года в городе Рио-де-Жанейро.

В июне 1992 года ООН провела свою ежегодную конференцию в Бразилии, на которой была принята «Повестка дня на XXI век», основанная на концепции устойчивого развития как дорожной карты действий. По мере роста глобального сотрудничества было создано еще несколько международных структур для решения глобальных экологических проблем. Среди этих инициатив - Киотский протокол, Картахенская (Колумбия) конвенция по биобезопасности и Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием (КБО ООН) [116].

В глобализированном обществе с несколькими уровнями власти и конфликтующими юрисдикциями экологические проблемы выходят за рамки государственных или региональных границ. Например, загрязнение наносит ущерб территории, что в конечном итоге оказывает воздействие на близлежащие регионы. Эти проблемы распространены в странах, которые с ними граничат. Это справедливо для большинства проблем, даже тех, которые носят локальный характер и не выходят за рамки национальных границ. Глобальные экологические проблемы вызывают беспокойство у политиков, о чем свидетельствует их широкие публичные высказывания [117, 118]. В некоторых случаях национальные власти обладают способностью решать несколько вопросов, и поначалу может показаться, что острой необходимости в международном сотрудничестве не существует. Тем не менее, основной движущей силой сотрудничества является тот факт, что многие страны и регионы решают одни и те же проблемы. Помимо помощи в выявлении проблем и их основных причин, бенчмаркинг (бенчмаркинг — сопоставительный

анализ на основе эталонных показателей как процесс определения, понимания и адаптации имеющихся примеров эффективного функционирования) может способствовать обмену передовым опытом, правилами и технологическими достижениями [118].

Международное сотрудничество также может помочь в разработке и обмене информацией, а также в снижении цен и повышении общей эффективности, в зависимости от того, сколько финансирования необходимо науке и технологиям для решения конкретной проблемы. Поэтому приобретение интеллектуального капитала, финансирования, знаний и технологий, которые способствуют экономической интеграции всех сотрудничающих стран, можно считать наиболее значимым вкладом в этом случае. Сохранение окружающей среды как среды обитания человека является целью международного сотрудничества в области охраны окружающей среды. Поэтому крайне важно, чтобы страны, имеющие общие границы, такие как Нигерия, сотрудничали в создании и совершенствовании систем управления окружающей средой. Таким образом, соглашения между странами служат необходимым средством обеспечения реализации сотрудничества по сохранению природной среды планеты, а устойчивая политика подчеркивается внутри каждой страны как своего рода политический инструмент, поддерживающий эти соглашения. Если мы не сделаем этого, мы не сможем предложить лучшие и наиболее практичные решения экологических проблем, стоящих перед всей планетой.

В настоящее время в соответствии с международным договором Нигерия продает электроэнергию, которую она производит из существующих источников энергии (гидроэнергии, нефти и газа), соседним странам вдоль реки Нигер, таким как Республика Бенин, Того и Нигер, и рассматривает возможность увеличения числа таких стран, как Буркина-Фасо, Камерун, Чад и т. д. Такое рассмотрение стало возможным благодаря тому факту, что около половины быстро растущего населения Африки остается без доступа к надежному и доступному электричеству – ситуация, которая получила название «энергетической бедности». Хотя эти

энергетические ресурсы, особенно нефть, уголь и газ, отрицательно повлияли на радиационно-экологическое состояние окружающей среды Нигерии и, в частности, соседних стран.

Поскольку Нигерия рассматривает возможность увеличения инвестиций в атомную энергетику в рамках усилий по снижению зависимости от ископаемого топлива (угля, нефти и газа) и адаптации к изменению климата, соседние страны получают больше энергетических выгод. Это позволило бы решить ряд энергетических проблем, связанных с развитием промышленности, сельского хозяйства, а также ряд экономических и социальных проблемам стран.

5.1. Роль международных соглашений в области экологии окружающей среды

Основной подход, который принимает мировое сообщество для решения экологического кризиса, предполагает гармонизацию соглашений в глобальном масштабе, касающихся экологии окружающей среды. Общеизвестно, что достижение стратегии выхода зависит от глобального сотрудничества в области защиты окружающей среды. В современную эпоху ни одна страна не может решить свои экологические проблемы, работая в изоляции; скорее, необходим единый, хорошо скоординированный подход всех стран, подкрепленный прочной международной правовой базой. Учитывая, что определенные природные циклы и процессы пересекают национальные границы, окружающую среду можно рассматривать как коллективное наследие человечества [13]. Деятельность одной нации часто влияет на другие. Международные соглашения и договоры способствуют сохранению биоразнообразия и справедливому использованию общих ресурсов в условиях экологических проблем, включая глобальное потепление. Нигерия является участником нескольких региональных и международных соглашений. Сохранение природных ресурсов и их мирная эксплуатация зависят от национального, регионального и международного сотрудничества. Например, река Нигер протекает длиной 4180 км (см. Рис.1.2 и 1.3) через Республику Нигер и Нигерию перед тем как впадает в Гвинейский залив. Управление бассейна реки Нигер (NBA) отвечает за международное управление

водными ресурсами, поскольку бассейн реки Нигер является частью десяти стран. НБА принял и реализовал План действий по устойчивому развитию [119], который касается управления многочисленными гидроэлектростанциями и сельскохозяйственными плотинами вдоль реки. НБА гарантирует, что эксплуатация воды в речном бассейне имеет смысл для всего бассейна и служит интересам местных сообществ. НБА также поддерживает прочную правовую основу для сотрудничества в области управления водными ресурсами и поощряет сотрудничество по потенциальным инвестициям между странами, имеющими общие речные границы.

В НБА реализуется множество совместных проектов. Одним из таких примеров является проект GIKOS в Нигере, который собирает и компилирует данные от членов НБА. Между прибрежными странами также реализуются проекты двустороннего сотрудничества. Например, совместный проект властей Мали и Гвинеи в бассейне Верхнего Нигера был запущен после эпизода загрязнения в Верхней Гвинее, в результате которого было отключено водоснабжение в столице Бамако [120]. В контексте адаптации к изменению климата национальные инициативы были реализованы в трех странах: в Мали, Нигере и Нигерии. Кроме того, с помощью ГЭФ и ПРООН Нигер и Малагасия разработали Национальную программу действий по адаптации (НПДА). РКИК ООН требует, чтобы наименее развитые страны представляли НПДА, но Нигерия не была обязана этого делать. Однако в 2010 году при помощи ПРООН и CIDA Нигерия подготовила документ, аналогичный своей НПДА [120]. Отсутствие сотрудничества между странами может привести к конфликтам из-за ресурсов, региональной нестабильности и неустойчивому использованию ресурсов окружающей среды. Напротив, региональное и международное сотрудничество позволяет обмениваться знаниями, ответственностью, опытом и техническими ноу-хау в решении экологических проблем. Например, недопонимание между странами, разделяющими реку Нигер, исторически возникло в результате строительства плотин на реке в прошлом и непредсказуемости климата. Проект строительства плотины Селинг был завершен в 1982 году во время засухи, что привело к тому, что страны, расположенные ниже

по течению, предположили, что Мали снизила сток рек за счет экономии воды. Благодаря сбору и обмену данными между странами НБА теперь может рассматривать такие случаи [120].

Поскольку природа глобальна и едина и не признает национальных границ, изменения в экосистеме одной страны неизбежно вызовут ответную реакцию в соседней. Например, промышленные компании в Нигерии или других странах могут выбрасывать в атмосферу дымовые газы, содержащие неприемлемое количество опасных примесей. Эти выбросы не только оказывают пагубное воздействие на экологию этих стран, но и могут нанести серьезный вред флоре и фауне окружающих стран. Государственные границы не распространяются на какие-либо другие аспекты природной среды, такие как речной сток, морские воды, мигрирующие виды животных и т. д.

5.2. Основные принципы международного сотрудничества в области охраны окружающей среды

Глобальное экологическое право, основанное на общепризнанных стандартах и руководящих принципах, регулирует глобальное сотрудничество в усилиях по сохранению окружающей среды [13]. Ключевые события, такие как Международная конференция Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 1992 г.), Мальмская декларация (2000 г.), Всемирный саммит по устойчивому развитию (Йоханнесбург, 2002 г.), Рио + 20 (2012 г.) (организуемая Бразилией в Рио-де-Жанейро), Парижское соглашение (2016 г.) и другие сыграли решающую роль в формировании этих стандартов. Следовательно, Конвенция об ориентирах, среди других соглашений, превратилась в краеугольный принцип международного сотрудничества в области окружающей среды. Он был создан во время Саммита Земли 1992 года в Рио-де-Жанейро, Бразилия, во время Конференции Организации Объединенных Наций по окружающей среде и развитию (Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 года). В этом саммите приняли участие 114 национальных лидеров и представителей 1600 неправительственных организаций, что стало самым значительным экологическим мероприятием 20-го века. Ключевые итоги саммита включают Рио-де-Жанейрскую

декларацию по окружающей среде и развитию, Повестку дня на XXI век, Заявление о принципах управления, сохранения и устойчивого развития всех лесов, Рамочную конвенцию об изменении климата и Конвенцию о биологическом разнообразии. Основной посыл Конференции ООН заключался в том, что государства должны работать вместе в рамках «всеобъемлющего партнерства» для защиты, сохранения и восстановления здоровья и целостности экосистемы» (Принцип 7), что «экологические проблемы нельзя рассматривать в отрыве от экономического развития» и что мир, развитие и защита окружающей среды «неразрывно связаны между собой» (Принцип 25), и что «экологическая стратегия» должна разрабатываться в свете нынешнего состояния мирового сообщества» [13, 109]. Десять лет спустя, в 2002 году, Саммит Земли (Рио+10) в Йоханнесбурге (Южная Африка) собрал лидеров бизнессообщества, правительства и НПО, чтобы собраться вместе и договориться по нескольким вопросам. Устойчивое развитие было определено как один из главных приоритетов национальных и региональных организаций, а также системы ООН в целом. В этом контексте была подчеркнута важность более эффективной интеграции устойчивого развития в повестку дня, а также необходимость активизации усилий учреждений по сокращению разрыва между многосторонними банками развития (МБР) и международными финансовыми учреждениями (МФУ).

«Рио + 20» стал 20-летним продолжением Саммита Земли/ЮНСЕД 1992 года, состоявшегося в том же городе, и 10-й годовщины ВВУР 2002 года в Йоханнесбурге, организованной Бразилией в Рио-де-Жанейро. Повестка дня на XXI век, итоговый документ Саммита Земли 1992 года, была в центре внимания конференции. Его считали революционным, поскольку он, по сути, положил начало фразе «устойчивого развития» и определил курс глобальной экологической повестки дня на следующие 20 лет. Следующее Парижское соглашение расширяет Парижскую конвенцию 2016 года и впервые объединяет все страны в согласованных усилиях по борьбе с изменением климата и адаптации к его последствиям, с дополнительной поддержкой для оказания помощи

развивающимся странам в этом. Тем самым он прокладывает новый курс в глобальных усилиях по борьбе с изменением климата.

5.3. Участие Нигерии в международном сотрудничестве в области охраны окружающей среды.

Национальная экологическая политика (НЭП) Нигерии 1999 года, пересмотренная в 2016 году, является ключевым политическим документом, который определяет концепцию устойчивого развития и направлен на содействие экологической устойчивости посредством международных соглашений. Широкие категории политики и программ в рамках экологического компонента НЭП 1999 года в общем случае составляют основу решения следующих глобальных проблем: лесного хозяйства, биоразнообразия, контроля экологического загрязнения окружающей среды, деградации земель, управления водными ресурсами, изменения климата, морской и прибрежной сред, чистой энергии и экологических преступлений. Таблица 5.1 иллюстрирует участие Нигерии в различных экологических конференциях, которые позволили стране подписать несколько экологических конвенций и соглашений [115].

Таблица 5.1: Договоры и конвенции Нигерии по окружающей среде.

Договоры и конвенции Нигерии по окружающей среде.		
Название договора или конвенции	Год подписания	Год исполнения
Африканская конвенция об охране природы и природных ресурсов	1968	1974
Конвенция об охране всемирного культурного и природного наследия	1972	1975
Конвенция о международной торговле видами дикой фауны и флоры, находящимися под угрозой исчезновения (СИТЕС)	1973	1987
Венская конвенция об охране озонового слоя и Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой	1985	1988
Поправка к Конвенции о контроле за трансграничной перевозкой опасных отходов и их удалением	2004	2019
Международная конвенция о гражданской ответственности за ущерб от загрязнения бункерным топливом	2010	2011
Протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата	2004	2005
Поправки к Конвенции о физической защите ядерного материала	2007	2016
Международная конвенция по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьезную засуху и/или опустынивание, особенно в Африке	1994	1996
Поправка к Монреальскому протоколу по веществам, разрушающим озоновый слой	2004	2004
Киотский протокол к Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата	1997	1997
Протокол к Конвенции о предотвращении загрязнения моря сбросами отходов и других материалов	2010	2010

Эти соглашения, ратифицированные Нигерией и другими странами, направлены на решение ряда вопросов, включая трансконтинентальные потоки опасных отходов, вырубку лесов, торговлю животными, насекомыми и птицами, находящимися под угрозой исчезновения, а также сохранение водно-болотных угодий [87, 115,121,122]. Эти соглашения [121] теоретически охватывают практически все аспекты воздействия человека на окружающую среду.

Правительство Нигерии признает исключительную важность решения экологических проблем и загрязнения окружающей среды. В своей приверженности устойчивому национальному развитию правительство инициировало ряд мер на всех уровнях государственного управления для повышения экологической устойчивости [87, 122, 123]. Эти усилия привели к созданию нескольких ключевых органов по управлению окружающей средой. Например, создание Федерального министерства окружающей среды направлено на создание не только высококачественной окружающей среды, но также поддерживает здоровье и благополучие как животных, так и растений, способствует устойчивому использованию природных ресурсов и способствует сохранению окружающей среды. восстановление и поддержание экосистем, среди других целей. Кроме того, правительство создало специализированные агентства, занимающиеся решением конкретных экологических проблем. В число этих агентств входят Национальное агентство по обеспечению соблюдения экологических стандартов и правил (NESREA) и Национальное агентство по обнаружению и ликвидации разливов нефти (NOSDRA), оба из которых были созданы в 2006 и 2007 годах соответственно [123]. NOSDRA отвечает за выполнение Национального плана действий в случае разлива нефти, а NESREA отвечает за обеспечение соблюдения всех экологических законов, руководящих принципов, политик, стандартов и правил на всей территории Нигерии. Кроме того, NESREA отвечает за соблюдение всех экологических положений международных соглашений, протоколов, конвенций и договоров, участницей которых является Нигерия [117].

Правительство также привержено защите окружающей среды и устойчивому развитию дельты Нигера, которая является базой добычи сырой нефти в стране.

Основной проблемой федерального правительства Нигерии в отношении устойчивого лесопользования является постоянное сокращение количества национальных лесов. Поэтому принимаются соответствующие программы и меры по защите лесных территорий путем разработки соответствующих стратегий и планов действий по защите лесных территорий. Федеральное правительство Нигерии реализовало проекты ирригации водоразделов в ответ на серьезные экологические и социально-экономические последствия засух и опустынивания. Реализация этих проектов является четким свидетельством заинтересованности правительства в продвижении устойчивого сельского хозяйства и развития сельских районов в Нигерии. В 2016 году федеральное правительство установило цель политики в области биоразнообразия в соответствии с соответствующими положениями Конвенции о биологическом разнообразии (КБР). Реализуются приоритетные инициативы по сбору информации о флоре и фауне Нигерии и расширению сети национальных парков и заповедников Нигерии. Кроме того, был разработан план действий по борьбе с загрязнением воды в дельте Нигера и сохранению биоразнообразия, чтобы обеспечить устойчивое использование прибрежных вод и прилегающих территорий. Нигерия также уделяет особое внимание своим ресурсам пресной воды в ответ на растущую обеспокоенность тем, что неадекватное управление водными ресурсами создаст большую нагрузку на инфраструктуру водоснабжения и повлияет как на количество, так и на качество доступной воды. В связи с этим правительство через Министерство водного хозяйства и сельского развития реализует программы, направленные на защиту качества и обеспечение поставок пресной воды в стране. Более того, власти Нигерии реализовали планы по снижению рисков для здоровья человека и окружающей среды, связанных с добычей и разработкой нефти и природного газа в дельте Нигера. Чтобы гарантировать, что разведка и добыча нефтяных ресурсов, как на суше, так и на море, регулируются законами, призванными уменьшить ущерб окружающей среде и риски для здоровья, федеральное правительство Нигерии приняло законы и правила [124].

Правительство Нигерии, наряду с мировым сообществом, признает, что опустынивание является всемирной проблемой, затрагивающей многие страны с точки зрения экономики, общества и окружающей среды, и что для ее эффективного решения требуется международное сотрудничество [125]. Следовательно, правительство Нигерии поощряло участие различных заинтересованных сторон, таких как частный сектор, неправительственные организации (НПО), общественные группы и частные инвесторы.

5.4. Экологическое образование в Нигерии

Экологическое образование (ЭО) имеет решающее значение, помогая людям в обществе приобретать знания, принимать добродетельные взгляды и вести себя ответственно по отношению к окружающей среде [126]. ЭО позволяет получить более широкие знания относительно природы в школьном и университетском образовании, а также в анализе и оценке последствий антропогенного воздействия на нее.

Согласно [127], образование может вдохновить людей на действия по защите окружающей среды, демонстрируя новые подходы к развитию позитивного отношения и способности противостоять экологически вредному поведению. Для функционирования системы образования Нигерии ЭО является необходимостью. Отсутствие культуры гармонизации человека и окружающей среды и игнорирование обществом вопросов экологии окружающей среды способствуют возникновению острой потребности или спросу на ЭО, отсутствие которых может привести к экологическому коллапсу — деградации сельскохозяйственных угодий, загрязнению речных и морских акваторий и истощению рыбных запасов и, в конечном итоге, к акциям населения, выступающего против новаций, которые оказывают негативное влияние на условия жизни местного населения. Это обусловлено тем, что, несмотря на некоторый доступ к общему образованию, многим нигерийцам не хватает экологических знаний (рис. 5.5). В результате они не понимают важности природы и проблем, которые возникают, когда люди и окружающая среда не сосуществуют.



Рис. 5.5. Диаграмма уровня грамотности среди мужчин (1) и женщин (2) возраста 15 - 24 лет [114].
Возникающий минимум, по-видимому, обусловлен мировым кризисом 2008 года

Охрана окружающей среды в Нигерии уже давно закреплена в нигерийском законодательстве и в официальной институциональной структуре для решения различных экологических проблем, с которыми сталкивается общество. Согласно данным института Джексона 2013*, усилия Нигерии в области охраны окружающей среды предпринимались со времени британского колониального господства в 1900-х годах на основе подзаконных актов. Кроме того, в этот период в секторе образования (школах) появлялись некоторые элементы охраны окружающей среды, а согласно работе [122], Западноафриканский экзаменационный совет уже в 1950-х годах разработал учебную программу, которая использовалась при преподавании биологии в школах, содержащих такие элементы окружающей среды, как сохранение почв. Впоследствии предмет экологии был введен в образовательных учреждениях посредством изучения различных естественных тем, охватывающих фундаментальные экологические идеи, терминологию и принципы, учитывая, что экологические проблемы были в центре внимания глобальных дискуссий. Это

* Институт глобальных отношений Джексона — это отделение Йельского университета, которое специализируется на образовании, стипендиях и исследованиях в области глобальных отношений. Основан в 2010

послужило мотивацией для начала в Нигерии мощной программы экологического образования (ЭО) еще в 1970-х годах в соответствии с рекомендациями глобальных конференций, посвященных вопросам окружающей среды [126]. Инцидент в Коко в 1988 году, когда опасные отходы выбрасывались в порту Коко в штате Дельта зарубежными организациями, подчеркнул общее отсутствие экологического сознания среди населения. В результате Нигерийский фонд охраны природы (NCF) в 1988 году призвал федеральное правительство взять на себя управление Нигерийским советом по исследованиям и разработкам в области образования, ныне известным как Нигерийский совет по образовательным исследованиям (NCER), с мандатом на включение экологических образования в обзорную конференцию по гражданскому образованию для нигерийской образовательной программы [129]. После этих усилий NCF по обеспечению того, чтобы энергоэффективность была частью образовательной системы Нигерии, федеральное правительство сформулировало и реализовало Национальную стратегию природоохранного образования.

Важно отметить, что наличие докторов наук, магистров и бакалавров наук, изучающих экологию на национальном уровне, не будет автоматически гарантировать, что общественность участвует в вопросах защиты окружающей среды [130]. Если правительство, в том числе конкретные ведомства, выделит достаточные средства на распространение этих знаний, эти эксперты смогут более успешно делиться ими с большим количеством людей [130]. Тем не менее, крайне важно вовлекать как общественность, так и бизнес различными способами, а не только посредством образовательных кампаний. Это должно включать использование финансовых санкций, налогов и других финансовых методов для стимулирования участия.

5.5. Результаты международного сотрудничества в Нигерии

Сотрудничество как на местном, так и на международном уровне способствует обмену знаниями, опытом и техническими навыками для решения экологических проблем. Нигерия может выиграть от такого сотрудничества, используя общий опыт. В стране реализуется Программа городских базовых услуг (UBSP) для расши-

рения комплексного предоставления экологических услуг, включая доступ к воде, санитарным объектам, дренажным системам и управлению отходами [132]. Эта инициатива позволит определить ключевые места в нескольких избранных городах Нигерии и разработать комплекс программ, направленных на улучшение жизни женщин и детей. Кроме того, инициатива поддерживается грантом ЮНИСЕФ на общую сумму 3 миллиона долларов США. Что касается отслеживания загрязнения окружающего воздуха: в 1993 году федеральное правительство Нигерии создало региональную станцию экологического мониторинга в Ошогбо (крупный промышленный центр в штате Осун) в рамках программы Глобальной службы атмосферы (ГСА) под эгидой Всемирная метеорологическая организация (ВМО). Эта станция предназначена для мониторинга загрязнения атмосферного воздуха.

Программы Федерального агентства по охране окружающей среды должны иметь приоритет в поэтапном отказе от озоноразрушающих веществ в Нигерии в соответствии с мандатом Монреальского протокола ООН по окружающей среде и глобальной Повестки дня на 21 век (Инициатива ЮНЕП по зеленой экономике), как указано в [132]. Среди текущих инициатив - создание институциональной структуры для координации национальных усилий по защите озонового слоя и укрепление институциональной базы Нигерии по поэтапному отказу от ОРВ посредством гранта в размере 3 миллионов долларов. Согласно британскому Индексу уязвимости к изменению климата Мэйплкрофт (CCVI) за 2016 год, Нигерия отнесена к стране с высоким риском на юге и экстремальным риском на севере. В результате изменения климата ВВП может снизиться на 6 – 30%. Согласно последним отчетам Статистического бюро Нигерии, если адаптация не будет произведена, предполагается, что к 2020 году (когда экономика Нигерии сократилась на 6,1% в годовом исчислении во втором квартале этого года) могут возникнуть потери от 2 до 11% ВВП страны, что будет препятствовать достижению цели развития страны и вхождению в число 20 крупнейших экономик мира. Программа Географической информационной системы (ГИС) является

двусторонним партнерством со Всемирным банком и является компонентом проекта Всемирного банка по управлению окружающей средой в Нигерии [131].

Чтобы решить проблему неконтролируемой потери лесов [131], был начат ряд текущих инициатив и программ по разработке мер контроля, которые обращают вспять этот процесс потерь. При этом основными финансирующими организациями выступали Всемирный банк и Африканский банк развития (АБР). «Лесной проект», начатый в 1987 году, до сих пор развивается благодаря финансированию АБР в размере 100 миллионов долларов. Ожидается, что эти постоянные возможности принесут большую пользу проектам Стратегического плана действий «Великая зеленая стена». Для классификации имеющихся механизмов внешнего финансирования можно использовать следующие категории [132]: мировую систему; международные организации, такие как Всемирная метеорологическая организация (ВМО), Международный фонд сельскохозяйственного развития (МФСР), Программу Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП), Продовольственную и сельскохозяйственную организации (ФАО), Программу развития системы Организации Объединенных Наций (ПРООН) и т. д., которые могут принимать участие в конкретных проектах/программах, определенных в контексте борьбы с опустыниванием в рамках КБООН и оказывать двустороннюю помощь; многостороннюю помощь, например, Всемирным банком, Европейским Союзом, Африканским банком развития, Всемирным банком, а также помощь Глобального экологического фонда (ГЭФ) [133].

5.6. Выводы по пятой главе

Изучение экологических проблем Нигерии показало, что для поиска их решения необходимо глобальное сотрудничество. Эти проблемы включают в себя истощение озонового слоя, загрязнение воздуха и воды, утрату биоразнообразия, изменение климата, демографический взрыв и многое другое [116]. Нигерия вносит свой вклад в усилия по решению этих международных проблем, путем повышения качества образования и, в частности, экологического образования населения.

Поскольку эти проблемы выходят за рамки национальных границ и являются трансграничными, государства начали тесно сотрудничать на международном уровне для разработки ответов. Чтобы создать общие платформы, на которых можно было бы определить приемлемые для всех условия для решения этих проблем, за прошедшие годы было предпринято несколько усилий в контексте международных конференций [132, 133]. В результате этих конференций международное сообщество ввело и обеспечило соблюдение многочисленных экологических норм, регулирующих устойчивое использование природных ресурсов. Нигерия получила выгоду от этого сотрудничества, что позволяет ей получать адекватную финансовую и техническую поддержку в результате этого сотрудничества как сейчас, так и в будущем. Очевидно, что региональное и международное сотрудничество способствует обмену знаниями, ответственностью, опытом и техническими ноу-хау в решении экологических проблем [132, 133].

В рамках национальной программы устойчивого развития правительство Нигерии создало систему управления на всех уровнях для содействия экологической устойчивости, продемонстрировав свою серьезность в отношении проблем загрязнения и деградации окружающей среды [132]. Одновременно правительство создало эффективные институциональные процессы и обучает квалифицированных специалистов для решения соответствующих экологических проблем. Несмотря на достигнутые успехи, для решения экологического кризиса в Нигерии требуется дальнейшее развитие и интенсификация двустороннего и многостороннего международного сотрудничества, в том числе с организациями системы Организации Объединенных Наций [133].

В настоящее время, в соответствии с международным договором, Нигерия продает электроэнергию, которую она производит из существующих источников энергии (гидроэнергетика и газ), соседним странам вдоль реки Нигер, таким как Республика Бенин, Того и Нигер, и рассматривает возможность увеличения количества таких источников таким странам, как Буркина-Фасо, Камерун, Чад и т. д. Эта энергетическая помощь оказывается возможной и необходимой по той причине, что около половины быстро растущего населения Африки остается без доступа к надежному и доступному электричеству - ситуация, которая получила

название «энергетической бедности». Кроме того, использование таких энергоресурсов как нефть оказывает негативное влияние на экологическое состояние окружающей среды в Нигерии и соседних странах.

Поскольку Нигерия рассматривает увеличение инвестиций в атомную энергетику, постольку снизится зависимость от ископаемого топлива (нефти и газа), улучшатся экологические условия в стране, а соседние страны также уменьшат свой энергетический дефицит. В целом это позволит решить ряд энергетических проблем, связанных с развитием промышленности, сельского хозяйства, а также экономическими и социальными проблемами стран региона.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нигерия является одной из самых богатых и развитых стран Африки, но ее существующие энергетические мощности довольно ограничены, что затрудняет дальнейший рост ее промышленности и сельского хозяйства. Две важные области электроэнергетического сектора Нигерии - производство и распределение - были приватизированы в 2013 году для решения проблем, связанных с предыдущей монополией правительства на производство, передачу и распределение электроэнергии.

Цель заключалась в дальнейшей индустриализации Нигерии и устойчивом развитии экономики страны. Но приватизация лишь изменила масштаб проблем, энергоснабжение страны по разумным ценам все еще остается высоким и ненадежным.

На данный момент 4,7% нигерийцев, или семьдесят шесть миллионов человек, что более чем в два раза превышает население Канады, не имеют доступа к электрической инфраструктуре страны [134]. Подача электроэнергии является серьезной проблемой даже для тех, кто подключен к сети, поскольку почти 90% общего энергопотребления не удовлетворяется. Проблема заключается в следующем: требуемая производственная мощность в настоящее время составляет 12 800 МВт, тогда как средняя рабочая генерирующая мощность приближается к 6 500 МВт, при этом до 27,7% нагрузки отвлекается на распределение и 7,4% нагрузки теряется при передаче. Сейчас в Нигерии имеется лишь примерно 5000 МВт. Однако из-за быстрого роста населения потребность Нигерии в электроэнергии к 2015 году, по прогнозам, достигнет 25 000 МВт, что является рекордным показателем. Таким образом, нигерийцы производят большое количество собственной электроэнергии из автономных альтернатив, которые сильно загрязняют окружающую среду и стоят более чем в два раза дороже, чем сетевая электроэнергия. Ожидается, что в ближайшие годы спрос на электроэнергию резко возрастет. За последние 45 лет Нигерия перешла от использования газовых, нефтяных и гидроэлектростанций к угольным электростанциям для производства электроэнергии. Газовые электростанции и гидроэнергетические системы сейчас составляют большую часть энергетического

баланса, но, к сожалению, они не являются достаточной и устойчивой заменой. Поэтому для удовлетворения растущего спроса населения на электроэнергию и обеспечения устойчивого развития экономики и страны в целом необходимо освоение более стабильных, надежных и высокоэффективных источников энергии, таких как атомная энергия. Однако для достижения устойчивого роста нынешняя эксплуатация энергетических ресурсов не должна оказывать неблагоприятного воздействия на будущие поколения. В конечном итоге вместо существующих технологий, основанных на ископаемом топливе, должны быть разработаны технологии, использующие возобновляемые виды топлива. Идея такого подхода к решению энергетического кризиса состоит в том, что использование ископаемого топлива, в конечном итоге, усугубляет проблемы изменения климата. Поэтому ядерные технологии, в настоящее время, являются наиболее эффективной альтернативой производству электроэнергии, основанному на ископаемых видах топлива, обеспечивая, таким образом, выполнение экологических требований к охране окружающей среды.

Итоговый результат исследований, проведенных соискателем, может быть представлен следующими выводами:

1. Представлено обоснование необходимости строительства АЭС в двух различных регионах Нигерии (Иту, штат Аква-Ибом и Герегу, штат Коги), существенно отличающихся метеорологическими условиями. Обоснование сформулировано на основе анализа социально-экономических и экологических условий, представляющих Нигерию в настоящее время. Проведен аналитический анализ эффектов воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты, включая и человека, результаты которого могут быть использованы для просвещения населения Нигерии, проживающего в регионе расположения АЭС, в контексте борьбы с радиофобией, возникающей среди этого населения, впервые сталкивающегося с понятием ионизирующего излучения, а также для внедрения квалифицированных рекомендаций относительно применения методов и средств радиационной защиты в условиях радиационных аварий.
2. Внедрены методы обработки метеорологических данных для оценки метеорологических характеристик атмосферы, используемых в программах расчета

выбросов и распространения радиоактивных примесей, образующихся в окружающей среде в результате радиационных аварий на АЭС. Внедрение современной геофизической модели приземного слоя атмосферы и программного обеспечения, разработанного на ее основе, наряду с результатами метеорологических наблюдений, использующих методику градиентных наблюдений, позволило определить состояния устойчивости атмосферы, обуславливающие различия метеорологических характеристик в регионах Герегу и Иту в Нигерии и выяснить их причину.

3. Внедрена методика определения необходимого и достаточного количества γ -датчиков АСКРО, используемых для оценки радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население при радиоактивном загрязнении окружающей среды, в условиях радиационных аварий. Методика может быть непосредственно реализована при создании АЭС и системы АСКРО в Нигерии. Результаты оценки существенно зависят от характера устойчивости атмосферы и ее метеорологических характеристик в каждом из рассматриваемых регионов Нигерии. Размещение системы γ -датчиков АСКРО вокруг АЭС на промплощадке и в санитарно-защитной зоне осуществляется на основе принципа, требующего равномерной их расстановки по азимуту и на различных расстояниях от возможного источника выбросов р/а примеси в атмосферу. Такой метод размещения γ -датчиков дает возможность определить радиационные характеристики γ -излучения, включая и значение средней энергии γ -излучения, в условиях радиоактивного загрязнения окружающей среды при полном отсутствии данных о радионуклидном составе выбросов, что и позволяет получить оценки дозовых нагрузок на персонал и население в подобных условиях.

4. Представлен метод определения оптимального пути следования из загрязненного района в чистую зону при эвакуации населения из зоны радиоактивного загрязнения с выбором оптимального маршрута, обеспечивающего минимальную дозовую нагрузку на эвакуируемое население, в условиях радиационных аварий на АЭС. Для используемого метода оценки оптимального пути следования требуется знание метеорологических характеристик региона,

состояние устойчивости атмосферы и характер радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности, включая и область населенного пункта, из которого осуществляется эвакуация, что может быть обеспечено расчетным путем при использовании ранее указанного программного обеспечения.

Обеспечение рекомендуемых для строительства АЭС в Нигерии оборудованием и техническими средствами для АСКРО позволят успешно оповещать о чрезвычайной ситуации на АЭС, а также оптимизировать финансовые затраты при ликвидации последствий радиационных аварий в случае их возникновения. Система будет предоставлять в режиме реального времени информацию о развитии радиационной аварии и управлении АЭС, что позволит оперативно принимать меры по минимизации последствий радиационной аварии, а также позволит определять уровни радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовые нагрузки на персонал и население. С целью обучения и подготовки персонала к действиям в подобных ситуациях целесообразно использовать материалы, связанные с работой исследовательского реактора NIRR-1 в Нигерии.

5. Решение проблем, связанных с внедрением в правовую систему Нигерии правовых и экономических механизмов, регулирующих развитие предприятий промышленного и агропромышленного направлений без нанесения значительного экологического ущерба окружающей среде, связано с требованием строгого соблюдения правового инструмента принципа «загрязнитель платит», поскольку важным элементом нашей цивилизации является здоровье окружающей среды.

Альтернативой принципа «загрязнитель платит» может служить принцип поощрения бизнеса, который при своей деятельности учитывает проблемы охраны экологии окружающей среды. В этом случае бонусом для развития такого бизнеса может служить смягчение налоговой политики государства. Эти рекомендации и определяют правовой и экономический механизмы развития бизнеса в Нигерии с учетом требований охраны экологии окружающей среды.

Таким образом, учитывая развивающийся характер экономики Нигерии, который, к сожалению, сопровождается не всегда законными методами, рекомендуется, применение легальных стандартных методов, которые основаны на хорошо известных приемах поощрения и наказания непослушного бизнеса. Эти

методы носят как экономический характер, так и правовой, поворачиваясь, то одной, то другой стороной закона к соответствующим исполнителям его нарушающим. В свете этого следует максимально поддерживать принятие сбалансированной экономической стратегии, а также постоянные усилия по защите окружающей среды среди членов сообщества путем разработки подходящих образовательных программ для решения экологических проблем и содействия устойчивому развитию.

6. В рамках Национальной программы устойчивого развития правительство Нигерии создало систему управления на всех уровнях для содействия экологической устойчивости. Правительство также серьезно относится к проблемам загрязнения и ухудшения состояния окружающей среды. В то же время правительство создало эффективные институциональные процессы и подготовило квалифицированных специалистов для решения экологических проблем. Однако, несмотря на достигнутый прогресс, для решения экологических проблем Нигерии по-прежнему требуется дальнейшее развитие и интенсификация двустороннего и многостороннего международного сотрудничества, в том числе с организациями системы ООН.

Результаты диссертационного исследования, могут быть использованы и внедрены в следующих областях:

1. При подготовке соответствующих материалов для обучения в области радиационного мониторинга на АЭС, в рамках программы, в которой участвует Нигерия, что является одним из важных требований МАГАТЭ.
2. В рамках учебных материалов на Национальных семинарах заинтересованных сторон, проводимых с целью оценки экологической безопасности и разработки нормативной документации для отдельных ядерных площадок, организованных Дирекцией развития атомных электростанций (НРРП), с привлечением заинтересованных сторон организации, участвующих в программе ядерной энергии Нигерии при Комиссии по атомной энергии Нигерии (КАЕС).
3. При решении проблем радиационного воздействия ионизирующего излучения и методов защиты, а также для оценки результатов социального и экологического анализа работы в рамках учебных документов для Комиссии в ее программах

извещения и просвещения населения при принятии программы АЭС в Нигерии, в силу существующей радиофобии в стране. Кроме того, результаты социально-экономического анализа диссертации могут быть внедрены и использованы для подготовки документов ТЭО АЭС и подготовки кадров для ТЭО в Нигерии в области реализации и оценки ядерно-энергетических программ заинтересованными сторонами, организованного Отделом информации и связей с общественностью НАЕС, путем привлечения заинтересованных сторон, участвующих в программе ядерной энергии Нигерии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Sledzevsky I.V., Kochakova N.B., Kiselev G.S., et al. The history of Nigeria in the new and modern times. / Ed. Yu. N. Zotova, I. V. Institute of Africa, USSR Academy of Sciences. M.: Science. The main editors of Eastern literature, (1981). - 358 p.
2. The History of Nigeria: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Nigeria>.
3. Information on Nigeria Energy Sector: <https://www.get-invest.eu/market-information/nigeria/energy-sector/>
4. United Nations Millennium Declaration. Adopted September 8, (2000), United Nations General Assembly (Resolution No. A /RES /52/2).
5. T.A. Frolova. World economy, Lecture notes. / Publishing House of TTI SFU (2010).
6. Aliyu Abubakar Sadiq & Ramli Ahmad Termizi & Saleh Muneer Aziz. Nigeria electricity crisis: Power generation capacity expansion and environmental ramifications, Energy/ Elsevier, vol. 61(C), 2013.pp. 354-367.
7. Sandy O. Energy and sustainable development in NIGERIA: solutions to the problem. / Energy Bulletin, (2013), №15, pp. 23 – 51.
8. IAEA (2018). Nuclear power reactors in the world. IAEA, Vienna, IAEA-RDS 2/38 ISBN 978–92– 0–101418–4 ISSN 1011–2642 /.
9. N. Lowber-Lewis. Nigeria and Nuclear Energy: Plans and Prospect. Nuclear Futures Document No. 11, January (2010), Center for International Innovation Management.

10. Furo Ebiere, Orumo Beinmotei Kenoll. Evaluation of the Security Risks Associated with the Construction and Operations of a Nuclear Power Plant in the Federal Republic of Nigeria. Journal of Nuclear Engineering & Technology. Vol. 10, № 1. JoNET (2020), pp. 15-23.
11. Elokhin A.P. Automated systems for monitoring the radiation environment of the environment. M.: NRNU MEPhI, (2012), 316 p.
12. Elokhin A.P. Methods and means of environmental radiation monitoring systems: monograph / Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Moscow: MEPhI, (2014), 520 p.
13. Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Пырков И.В. Основы экологии и радиационно-экологического контроля окружающей среды: Учебное пособие под редакцией А.П. Елохина. М.: НИЯУ МИФИ, (2016). - 680 с.
14. Yehunda E. Chad-Umoren, Bamidele F. Ebiwondzumi. Nigeria's nuclear power project: current status and future prospects. / Journal of Energy Technologies and Policies, (2013), Vol. 3, № 7, pp. 10–21.
15. Tongal A. The Recent State of the Nuclear Power Program in Turkey. A document presented at the IAEA interregional seminar on advanced nuclear reactor technology for short-term deployment. July 4–8, (2011), Vienna, Austria.
16. Nigeria Energy Commission (ECN). National Energy Policy, Federal Republic of Nigeria, Abuja (2003).
17. Environmental problems in Nigeria. <http://alisravni.ru/problemny-okruzhayush-hej-sredy-vnigerii-d/>
18. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Экологические и социально-экономические исследования, определяющие возможность, в настоящее время, строительство АЭС в Федеративной Республике Нигерия. MODERN SCIENCE № 08. Vol. I, (2019), стр. 195-211.
19. Religions in Nigeria: <https://www.unian.net/world/10482438-podzhigali-domadobivaya-zhenshchin-i-detey-v-nigeriiboeviki-musulmane-ubili-120-christian.html>. 38 power stations in Nigeria, Locations and their capacities. URL: <https://infoguidenigeria.com/power-stations-nigeria/>

20. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Бурханов А.К. Экономика Нигерии и необходимость ее диверсификации с помощью использования Атомной Энергии. Вестник Алтайской академии экономики и права, (2022), №6 (1), стр.139-153.
21. A.I. Oludare, M.N. Agu, P.O. Akusu, A.M. Umar and O. E. Omolara. The Nigeria Energy Challenge and the Nuclear Energy Option, Journal of energy technologies and policy Vol. 4, No. 4, (2014), pp 26-47.
22. Daniel R.E. Ewim, Stephen S. Oyewobi, Michael O. Dioha, Chibuiké E. Daraojimba, Suzzie O. Oyakhire & Zhongjie Huan. Exploring the perception of Nigerians towards nuclear power generation. African Journal of Science, Technology, Innovation and Development, (2021). DOI: 10.1080/20421338.2021.1930848.
23. Ekpo A.H. & Umoh O.J. An overview of the Nigerian economic growth and development today. Sunday, November 16 (2014).
24. Orumo Kenoll, Elokhin A.P., Ksenofontov A.I. Ecological and socio-economic aspects of the possible development of Nuclear Energy in the Federal Republic of Nigeria. International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology. Vol. 4, № 4. (2019), pp. 256-272.
25. Sunmonu N. (2014:10), “Finding Solution to Nigeria’s \$11 billion annual crude theft”; <http://Dailyindependentnig.com/2014/03/finding-solution-to-Nigerias-&11b-annual-crude-theft>.
26. Нигерия ПОТЕРЯЕТ 22 миллиона баррелей сырой нефти всего за 6 месяцев в 2019 г. URL: <https://flvibe.com/exposed-nigeria-loses-22-million-barrels-crude-oil-just-6-months/>
27. Orumo B.K., Elokhin A.P., Ksenofontov A.I. Analysis, Adaptation and Implementation into the Legal Framework of Nigeria of Legal and Economic Mechanisms used in Protecting the Environment. Journal of Global Ecology and Environment. (2021). 13 (2): 35-48. ISSN: 2454-2644.
28. Производственный сектор в Нигерии, тенденции и что это означает для рабочих мест. URL: <https://www.selectglobal.co.in/blog/manufacturing-sector-in-nigeria-trends-and-what-this-means-for-jobs/>

29. Masud I., Sendiwal A. & Diyawu R. Service Recovery, Perceived Fairness, and Customer Satisfaction in the Telecoms Sector in Ghana. *International Journal of Service Science, Management, Engineering, and Technology*, (2018), 9(4). doi: 10.4018/IJSSMET.2018100105
30. Metu Amaka Gertrude, Kalu Christopher and Maduka Olisaemeka. Analysis of Crime Rate and Economic Growth in Nigeria: The Institutional Challenges and Way Forward (June 11, 2018). *Journal of Economic Studies*, 15(1), 39-50, 2018, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3386596>.
31. Елохин А.П., Лысенко И.С. Некоторые социальные болезни современной России. *MODERN SCIENCE* №7 (1), (2017), стр. 140-166.
32. Silverio H.A. The importance of nuclear energy in the global economy. *Chemical/Environmental Engineering, Technical Expert. Accreditation/ Certification. Alternate Energy System*, 2008. Available: [file:///C:/Users/Pc45/Downloads/nuclear-energy-economyhenriquez-11% 20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Pc45/Downloads/nuclear-energy-economyhenriquez-11%20(1).pdf), Jan 2008 SilveradoEE@net scape.net.
33. Kuros Ghaffari. The tiny atom delivers big benefits in unexpected ways, Available: URL: <https://share.america.gov/big-benefitspeaceful-nuclear-energy/>, Mar 30, (2016).
34. А.П. Елохин, И.А. Стародубцев. Оценка материальных затрат при ликвидации последствий радиоактивного загрязнения подстилающей поверхности при радиационной аварии на ОИАЭ. *ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ*, (2016), №3(20), С. 7–34.
35. Elokhin A.P., Orumo B.K., Ksenofontov A.I. Benchmarking study of estimating costs on ARMS and elimination of radiation accident consequences at a nuclear facility. *International Journal of Nuclear Governance, Economy and Ecology*. Vol. 5, № 1, (2021), P. 1- 23.
36. Елохин А.П., Жилина М.В. (НТЦ ЯРБ), Рау Д.Ф., Иванов Е.А. (ВНИИАЭС). Положение о повышении точности прогностических оценок радиационных характеристик радиоактивного загрязнения окружающей среды и дозовых нагрузок на персонал и население. Министерство природных ресурсов и экологии российской федерации федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору. РБ – 053 – 09. Утверждено приказом

федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 8 июня 2010 г. № 465, 79 с.

37. Нормы радиационной безопасности. НРБ –99/2009. Санитарные правила и нормативы. СанПиН 2.6.1.2523 – 09.- URL: <http://docs.cntd.ru/document/902170553>.
38. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ – 99/2010). Санитарные правила и нормативы СП 2.6.1.2612-10.
39. Орумо Б.К., Ксенофонтов А.И., Елохин А.П. Метеорологические особенности регионов строительства АЭС в Нигерии. ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, 2024, Том 14, №3 (52). Стр. 42–55. (Orumo B.K., Ksenafontov A.I., Elokhin A.P. Meteorological Features of NPP Constraction Region in Nigeria. Physics of Atomic Nuclei, 2024, Vol.87, No 12, pp.1766-1776).
40. Машкович, В. П., Защита от ионизирующих излучений. Справочник / В. П. Машкович, А. В. Кудрявцева. – Москва: Энергоатомиздат. – 1995. – 496 с.
41. Гусев, Н. Г., Защита от ионизирующих излучений. Т. 1. Физические основы защиты от излучений / Н. Г. Гусев, Л. Р. Кимель, В. П. Машкович, Б. Г. Пологих, А. П. Суворов. – Москва: Атомиздат. – 1969. – 472 с.
42. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Особенности воздействия ионизирующего излучения на биологические объекты и методы его радиационного контроля на ядерных объектах. (Аналитический обзор). ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, (2020), № 2 (35), стр. 16-40.
43. <https://bestlavka.ru/smertelnaya-radiaciya-dlya-cheloveka-stepeni-i-dozy-luchevoj-bolezni/>.
44. Kristy R. Kutanzi, Annie Lumen, Igor Koturbash, and Isabelle R. Miousse. Pediatric Exposures to Ionizing Radiation: Carcinogenic Considerations. Int J Environ Res Public Health. – (2016). – 13 (11). – P. 1057.
45. Bennett, Burton, Michael Repacholi, and Zhanat Carr. "Health effects of the Chernobyl accident and special health care programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group'Health'." (2006).
46. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Влияние ионизирующего излучения на биологические объекты; инструментальные методы его радиа-

- ционного контроля. Тезисы докладов XVI Международной научно-практической конференции «Безопасность ядерной энергетики». Волгодонск, 12 – 13 ноября (2020) г. С. 48 – 52.
47. Effects of Ionizing Radiation on DNA (Влияние ионизирующего излучения на ДНК) <https://teachnuclear.ca/all-things-nuclear/radiation/biological-effects-of-radiation/effects-of-ionizing-radiation-on-dna/>.
48. Риски воздействия низкодозового ионизирующего излучения. (апрель 2004г.). [www.world-nuclear.org/risk-of-low-dose-ionizing radiation.aspx/april,2004.www.inis.iaea.org,1995](http://www.world-nuclear.org/risk-of-low-dose-ionizing-radiation.aspx/april,2004.www.inis.iaea.org,1995).
49. Гадекар Сангамитра, Гадекар Сурендра. Медицинское исследование в районе индийской атомной станции (Кота, Раджасхана, Индия). IEER: Энергетика и Безопасность – (2003), №23, – 97 с. <https://ieer.org/ensec/no-23/no23russ/sapeace.htm> 1.
50. Committee for review and evaluation of the medical use program of the nuclear registry commission, (1996).
51. Brenner D.J. and Hall E.J. Computed tomography-an Increasing Source of Radiation Exposure. / N Engl J Med. – (2007); 357 (22): 2277–2284.
52. Sadetzki S. and Mandelzweig I. Childhood exposure to external ionizing radiation and solid cancer risk. / Br j cancer. – (2019); 100(7): 1021-1025.
53. Jonathan Samet, Joann Seo. «The financial costs of the Chernobyl nuclear power plant disaster: a review of the literature». (2016) – URL: http://www.greencross.ch/uploads/media/2016_chernobyl_costs_report.pdf.
54. IAEA/ILO: Radiation Protection against Radon in Workplaces other than Mines, Safety Report, IAEA Safety Reports Series No. 33, (2003).
55. Park, J. & Oh, Y. & Rho, B. Environmental radiation monitoring in Korea. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. (2003), 255. 27-36. 10.1023/A:1022207109655.
56. Стародубцев И.А., Елохин, А.П. К вопросу об использовании автоматизированных систем контроля экологической обстановки на территориях, прилегающих к предприятиям черной, цветной металлургической и атомной промышленности. / И.А. Стародубцев, А.П. Елохин // Глобальная ядерная безопасность. – (2015). – №4(17). – С. 15–34.

57. Джейсон Т. Харрис. Радиологические выбросы и мониторинг окружающей среды на коммерческих атомных электростанциях, Атомная энергетика – эксплуатация, безопасность и окружающая среда. (2011).09.06.
58. O.A. Ivashchuk, O.D. Ivashchuk, I.S. Konstantinov and A.V. Mamatov. Creation of automated control system of environmental safety of an industrial complex / O. A. Ivashchuk [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – (2014). - Vol.9, №11. - P. 2254-2258.
59. Belarus Receives IAEA Equipment to Assess Radiological Threats Associated with Forest Fires by Elodie Broussard, IAEA Office of Public Information and Communication, May 27 2020. <https://www.iaea.org/newscenter/news/belarus-receives-iaea-equipment-to-assess-radiological-threats-associated-with-forest-fires> <https://www.neimagazine.com/news/newsbelarus-receives-iaea-radiological-monitoring-equipment-7948742>).
60. Lindberg JCH, Archer D. Radiophobia: Useful concept, or ostracising term? Prog Nucl Energy (2022), 149:104280.
61. A.P. Elokhin and D.F. Rau, “System for monitoring the radiation conditions in zones containing objects of the nuclear industry,” Patent № 2042157, Russian Federation (1995).
62. Elokhin A.P. Comparative assessment of underlying surface contamination from concentrated and distributed sources of a radioactive impurity. Atomic Energy 84, с. 48–56 (1998).
63. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слой атмосферы. - Ленинград: Гидрометеиздат, (1970). – 340 с.
64. Issa Alalam, Elokhin A.P., Ksenofontov A.I. and Fedorov P.I. Meteorological characteristics of the NPP construction area in Jordan. / *Global Nuclear Security*, (2017), Vol. 24, № 3, pp. 19 - 34.
65. Елохин А.П., Исса Алалем, Ксенофонов А.И. Метеорологические характеристики района АЭС «Бушер» в Иране. ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, 2017 №4 (25), стр. 23-47.
66. Елохин А.П., Холодов Е.А., Жилина М.В. Влияние изменения шероховатости подстилающей поверхности на формирование следа при её

- радиоактивном загрязнении. // Метеорология и гидрология, (2008). № 5. С. 81-91.
67. Модель мезомасштабного переноса радиоактивных веществ в атмосфере. Руководство пользователя. НПО “Тайфун”, Обнинск, (2000).
68. Методы расчета распространения радиоактивных веществ в окружающей среде и доз облучения населения. М.: МХО ИНТЕРАТОМЭНЕРГО, (1992), 334 с.
69. Методические указания по расчету радиационной обстановки в окружающей среде и ожидаемого облучения населения при кратковременных выбросах радиоактивных веществ в атмосферу. МПА-98. Минатом России, (1998).
70. Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах. РД 52.18.717-2009. Обнинск: ООО «Принт-Сервис», (2009), 113 с.
71. Глущенко А.И., Лайхтман Д.Л., Натанзон Г.А., Петров О.Г., Хамьянов Л.П. О выборе метода расчета рассеяния радиоактивных примесей, выбрасываемых АЭС в атмосферу. Атомные электрические станции, вып. 4, 1981, с. 154-158. М.: Энергоиздат, Сб. статей под общ. ред. Л.П. Воронина, 239 с.
72. Елохин А.П. Выбор оптимальной высоты метеомачты для задач прогнозирования радиоактивного загрязнения окружающей среды при выбросах АЭС// Научная сессия МИФИ-99: Сб. науч. тр. М.: МИФИ, (1999). Т. 1. С. 31-32.
73. Санитарные правила и гигиенические нормативы СанПин 2.6.1.24-03. "Санитарные правила проектирования и эксплуатации атомных станций (СП АС-03)". ПОСТАНОВЛЕНИЕ от 28 апреля (2003) года N 69. <https://docs.cntd.ru/document/901862274>
74. Елохин А.П. Выбор оптимального пути следования при эвакуации населения из загрязнённого района. Атомная энергия, т.87, вып. 4, октябрь 1999, 314 — 316.
75. Elokhin A.P., Zhilina M.V., Parkhoma P.A. Particulars of scanning an underlying surface using a pilotless dosimetric complex. Atomic Energy, (2009), Vol. 107, № 2, pp. 130–143. DOI: 10.1007/s10512-009-9207-1.

76. Elokhin A.P., Zhilina M.V., Rau D.F. and Parkhoma P.A. (2010) A method for remote measurement of radionuclide contamination of the underlying surface in the wake of a radioactive release of radiation-hazardous enterprises and a system for its implementation. (2010). Patent № 2388018, bull. No. 12.
77. Elokhin A.P. Principles of placing dose rate sensors around nuclear power plants. Atomic Energy, (1994), Vol. 76, № 3, pp. 188 - 193.
78. Volkodaeva M.V., Kiselev A.V. On development of System for Environmental Monitoring of Atmospheric Air Quality. / Zapiski Gornogo instituta. – 2017. – Vol. 227, p. 589-596. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.589.
79. Aleksakhin R.M., Buldakov L.A. and Gubanov V.A. Major radiation accidents: consequences and protective measures / Ed. L.A. Ilyina and V.A. Gubanova - M., Publishing House, (2001), p.752.
80. Оценка воздействия на окружающую среду в Нигерии: нормативно-правовая база и процедурные рамки. Доступно по адресу:
<file:///C:/Users/User/Documents/EIANigeria.pdf>.
81. Oluwadare Joshua OYEBODE. Impact of Environmental Laws and Regulations on Nigerian Environment. / World Journal of Research and Review (WJRR) ISSN: 2455-3956, Volume-7, Issue-3, September (2018). pp. 09-14.
82. Брукфилд Х. Экологическая устойчивость с развитием: каковы перспективы исследовательской программы./ В Оларе, Сток (ed) Устойчивое развитие. Лондон: Фрэнк Кейс и Ко. (1991).
83. Udoh J.V. Устойчивое развитие в странах третьего мира; прикладная и теоретическая перспектива. Вестпорт С. Т. Издательство Прагера. (1996).
84. Nyewusira V., Nweke K. Nigeria and the Attainment of Sustainable Development in the 21st Century. / Mediterranean Journal of Social Sciences, Vol. 5, № 4. (2014), pp. 645-655.
85. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонов А.И., Экологические и социально-экономические аспекты возможного развития атомной энергетики в Федеративной Республике Нигерия. / ГЛОБАЛЬНАЯ ЯДЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ, (2019), №4 (33), стр. 96-109.
86. Onyenekenwa Cyprian Eneh. Управление окружающей средой Нигерии: нерешенные проблемы. / Журнал экологической науки и техники, (2011). 4:

250-263.

87. National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency (NESREA). Available at: <http://www.nesrea.gov.ng>.
88. The National Oil Spill Detection and Response Agency NOSDRA, is an agency under the federal ministry of Environment in Nigeria. NOSDRA Amendment Bill 2018 (Nigeria).
89. Департамент нефтяных ресурсов. Экологические руководящие принципы и стандарты для нефтяной промышленности в Нигерии 1991 (пересмотренное издание, 2002).
90. Ijaiya H., Joseph, O. Rethinking Environmental Law Enforcement in Nigeria. / Beijing Law Review, 5, (2014). pp. 306-321. doi: 10.4236 / blr.2014.54029.
91. Ladan M.T. Law, Affairs and Policy on Energy, Mineral Resources, Climate Change, Environment, Water, Marine Resources and Human Rights in Nigeria. Zaria: Ahmadu Bello University Press, (2009).
92. Ифеани А. Оценка воздействия на окружающую среду как инструмент устойчивого развития: нигерийский опыт. / Материалы Международного конгресса FIG XXII, 19-26 апреля, Вашингтон, округ Колумбия, США, (2002). стр. 1-13.
93. СЕТЬ НАВАРИ. Утечка нефти вынуждает Shell закрыть нефтяное месторождение в Нигерии, 21 декабря 2011 года. Доступно по адресу: <http://www.thehabarinetwork.com/oil-leak-forces-shell-to-shutdown-nigerian-oilfield>.
94. Уилл Роуз, BBC News, Дельта Нигера, 26 июля 2012 г., процветающие нелегальные НПЗ в Нигерии. Доступно по адресу: <https://www.bbc.com/news/world-africa-18973637>.
95. Нефть: Заговор, который отнимает у Нигерии миллиарды долларов. Новости Авангарда, 25 Августа 2014 г. Доступно по адресу: <https://www.vanguardngr.com/2013/08/oil-the-conspiracy-that-robs-nigeria-of-billions-of-dollars/>.
96. Newsweek. В результате взрыва нефтепровода в дельте реки Нигер погибли три человека, говорится в сообщении экологической группы, 27 ноября

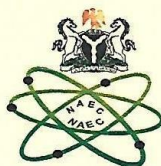
- 2014 г. Доступно по адресу: <https://www.newsweek.com/niger-delta-oil-pipeline-explosion-kills-three-says-environmental-group441994>.
97. Нелегальная добыча нефти в Нигерии 25 ноября 2012 года. Доступно по адресу: <http://fototelegraf.ru/159043-nelegalnaya-dobychanefti-v-nigerii.html>.
98. Gas Flaring Disrupts Life in Oil-Producing Niger Delta. <https://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=12175714>.
100. Сжигание газа нарушает жизнь нефтедобывающей дельты Нигера, 24 июля 2007 г. Доступно по адресу: <https://www.npr.org/templates/story/story.php?storyId=12175714>.
101. Аделеган Дж. А. История экологической политики и загрязнения водных источников в Нигерии. (1960-2004): путь вперед, 2004.
102. Абдулмумини А., Абубакар И. Т., Магаджи Л., Сани М.Г., Аюба А.М., Шеху Х., Иса Б.К. Обзор промышленных сточных вод как основных источников загрязнения воды в Нигерии. / Chemistry Journal Vol. 1, № 5, (2015), с. 159-164.
103. NOSDRA says dead fishes on N/Delta coastline traced to discharge toxic wastes. Available at: <https://nigerdeltaherald.com/nosdra-says-dead-fishes-on-n-delta-coastline-traced-to-discharge-toxic-wastes/>.
104. Дэвид Н.О., Феликс И., Икем Э. Управление отходами: инструмент для защиты окружающей среды в Нигерии. AMBIO A Journal of Human Environment 31 (1): 55-57. Февраль 2002 г.
105. European Commission - EU Science Hub - Research topic – Environmental monitoring. Available at: <https://ec.europa.eu/jrc/en/research-topic/environmental-monitoring>.
106. Фишер В.С., Джексон Л.Е., Сутер Г.В., Бертрам П. Показатели для оценки риска для человека и окружающей среды: точка зрения Агентства по охране окружающей среды США. / Оценка человеческого и экологического риска, (2001). 7: 961–970.
107. Уилл Роуз, BBC News, Дельта Нигера, 26 июля 2012 г., процветающие нелегальные НПЗ в Нигерии. Доступно по адресу: file:///C:/Users/User/Documents/The_State_of_Environmental_Monitoring_in%20Nigeria.pdf.

108. Chokor B.A. Government Policy and environmental Protection in Developing World. / Environmental Management, (1993), Volume 17, Number 1 pp. 15-30.
109. Chokor B.A Environmental Awareness as a strategy for an effective Environmental Policy and Pollution Control in Environmental Issues and Management in Nigerian Development. / Evans Brothers Limited. (2005).
110. Emmanuel Onyeabor, Helen Agu. Economic Based Approach to Environmental Regulation as a Panacea to Effective Environmental Management in Nigeria. / Journal of Law, Policy and Globalization, ISSN 2224-3240 (Paper) ISSN 2224-3259 (Online) Vol.42, (2015). pp. 8-17.
111. Federal Republic of Nigeria Official Gazette. Vol. 96, № 65. (2009). Available at: <file:///C:/Users/User/Documents/ng-government-gazette-dated-2009-10-14-no-65.pdf>.
112. Орумо К.Б., Елохин А.П., Ксенофонов А.И. Правовой и экономический механизмы охраны окружающей среды в федеральной республике Нигерия. / Евразийский Союз Ученых (ЕСУ) № 6(75), часть 7, (2020), стр.13-27.
113. Международное сотрудничество в решении экологической проблемы URL: <https://leeroyee.com/ielts/2014/03/ielts-writing-international-cooperation-to-solve-environmental-problem/>.
114. Нигерия Экономический рост – годы 1991 – 2018 данные, диаграмма [ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/ Economic_growth/](http://ru.theglobaleconomy.com/Nigeria/Economic_growth/).
115. Харт Лоуренс, Орупабо Сика. Применимые международные законы об оценке воздействия на окружающую среду для района дельты Нигера в Нигерии. / African Journal of Environmental Science and Technology, 10(11), (2016), стр. 386-393.
116. Chuka Enuka. Challenges of International Environmental Cooperation. / Global Journal of Human-Social Science (B) Geography, Geo-Sciences, Environmental Science & Disaster Management Volume 18 Issue 3 Version 1.0, (2018). pp 7-15. URL: https://globaljournals.org/GJHSS_Volume18/2-Challenges-of-International.pdf.

117. Aliyu Ahmed-Hameed. The Challenges of Implementing International Treaties in Third World Countries: The Case of Maritime and Environmental Treaties Implementation in Nigeria. / Journal of Law, Policy and Globalization, Vol (50), (2016). pp 22 – 30.
118. CHIRIAC Suzana Elena & GHIDIU-BÎTA Ioana Maria. "Globalization And Sustainable Development – The Need For Stronger Integration And International Cooperation In The Environmental Area," Annals of Spiru Haret University, Economic Series, Universitatea Spiru Haret, (2011). vol. 2(3), pages 51-57.
119. Andersen I., Dione O., Jarosewich-Holder M., Olivry J.C. The Niger River Basin: A vision for sustainable management. Washington DC, US: The World Bank. (2005).
120. Marisa Goulden and Roger Few. Climate Change, Water and Conflict in the Niger River Basin. International Alert and University of East Anglia (2011), pp 1 - 70.
121. Анифеиок Э. Ит., Усенобонг Ф. Уфот., Маргарет У. Ит., Идонгет О. Исаак., Удо Х. Ибок. "Нефтяная промышленность в Нигерии: экологические вопросы, национальное природоохранное законодательство и осуществление международного экологического права" / American Journal of Environmental Protection, Vol.4, №1, (2016), 21-37. doi:10.12691/env-4-1-3.
122. Tijani Elizabeth E., Evaluating the Impact of Environmental Laws and Policies in Achieving a Sustainable Environment in Nigeria (August 27, 2021). Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3970252> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3970252>
123. Federal Government of Nigeria: Nigeria's Path to Sustainable Development through Green Economy. Country Report to the Rio + 20 Summit, June (2012). URL: <file:///C:/Users/User/Documents/1023nigerianationalreport.pdf>.
124. Ite A. E., Ibok. U.J., Ite M.U., Petters S.W. "Petroleum Exploration and Production: Past and Present Environmental Issues in Nigeria's Niger Delta," American Journal of Environmental Protection, 1 (4). (2013). pp 78-90.
125. Federal Republic of Nigeria Ministry of Environment: Great Green Wall for the Sahara and Sahel Initiative, National Strategic Action Plan. October (2012). URL: http://www.fao.org/fileadmin/templates/great_green_wall/docs/NIGE

126. Erhabor Igbinosa Norris. Actualizing the Goals of Environmental Education in Nigeria. / Journal of Education and Practice. www.iiste.org ISSN 2222-1735 (Paper) ISSN 2222-288X (Online) Vol.7, №8, (2016), pp. 1 – 5.
127. Thathong K. A spiritual dimension and environmental education: Buddhism and environmental crisis. / In: Procedia - Social and Behavioral Sciences. (2012), Vol. 46, pp. 5063 – 5068.
128. Aboye M.A. Environmental Education In Nigeria in Kola-Olusanya, Omotayo A., Fagbohun O. (Ed.) / Environment and Sustainability Issues, Policies & Contentions, University Press Plc, Ibadan, (2011).
129. Bosah V.O. Environmental Education in Nigeria issues, challenges, and prospects. / Mediterranean Journal of Social Science, (2013), 4 (15) 159-168.
130. Orumo B.K., Elokhin A.P., Ksenofontov A. I. International cooperation on environmental issues in Nigeria (Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии). Доклад. International Conference «Process Management and Scientific Developments» Birmingham, United Kingdom, November 25, (2020), P.123-146.
131. Nigeria Country Profile: Implementation of Agenda 21: Review of progress made since the United Nations Conference on Environment and Development, (1992). URL: <https://www.un.org/esa/earthsummit/nigeriac.htm>.
132. Елохин А.П., Ксенофонтов А.И., Орумо Б.К. Международное сотрудничество по экологическим вопросам в Нигерии. Экологическое право. (2021), № 2, стр. 28-33.
133. Орумо Б.К., Елохин А.П., Ксенофонтов А.И. Некоторые аспекты международного сотрудничества по экологическим вопросам в Нигерии. Глобальная ядерная безопасность, (2021), №2 (39), стр.25-34
134. See 2016 World Bank statistics on population and electricity access. URL: <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.ACCS.ZS>.

Приложение (на 2-х л.)



HIGH COURT OF JUSTICE, ABUJA
F.C.T. ABUJA
CERTIFIED TRUE COPY

NAME: B. K. BEINMOTEL
RANK: REGISTRAR
SIGN: [Signature]

THE PRESIDENCY

NIGERIA ATOMIC ENERGY COMMISSION (NAEC)

(Established by Act 46 of 1976)

No. 9 Kwame Nkrumah Crescent, Asokoro, P.M.B 646, Garki, Abuja, Nigeria

Prof. Yusuf A. Ahmed, FNIP, FNATE
Chairman/CEO

CERTIFICATION ON THE IMPLEMENTATION OF THE RESULTS OF SCIENTIFIC RESEARCH BY ORUMO BEINMOTEL KENOLL

Orumo B.K dissertation research on the topic: «Radiation and Environmental aspects of the Construction of Nuclear Power Plants in the Federal Republic of Nigeria» is highly relevant and of practical interest for the Planning, Siting, Design and implementation of the nuclear energy programme of the Nigeria Atomic Energy Commission NAEC in Nigeria.

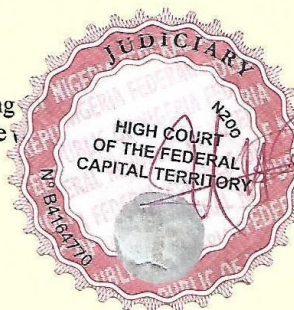
The results of the Dissertation research presented by Mr Orumo B.K were used and implemented in the followings areas in the Commission:

Preparation of relevant materials for training in the area of radiation monitoring in the nuclear power plant NPP programme of which Nigeria is in are IAEA 2nd Mile stone. The dissertation research was used as part of the training materials on February 07 – 09, 2024, for the National Stakeholders' Workshop on Environmental Safety Assessment and Regulatory Documents for Selected Nuclear Sites organized by the Nuclear Power Plant Development (NPPD) Directorate, bringing stakeholder organizations involved in Nigeria's Nuclear Energy Programme.

The socio-economic analysis results in the work were introduced and used for the preparation of documents for the NPP feasibility studies and the preparation of staff for the feasibility programme in Nigeria.

The radiation impact and protection aspect and the social and environmental analysis results of the work were used as part of training documents for the Commission in her Advocacy and Enlightenment programmes for stakeholders and the Population for acceptance of the NPP programme in Nigeria due to the present radiophobia in the Country. The dissertation research was used as part of the training materials on the national workshop on advocacy and enlightenment on nuclear energy program implementation and evaluation with stakeholders, been organized by the Information and Public Affairs Unit of NAEC on February 20 – 23, 2024, by bringing together stakeholder organizations involved in the Nigeria's Nuclear Energy Programme.

ENGR. ANTHONY EKEDEGWA
Director, Planning, Siting Design and Licensing
Nuclear Power Plant Development Directorate



Assess
Fees - N/A
RN - 13229075
Date - 4-4-24



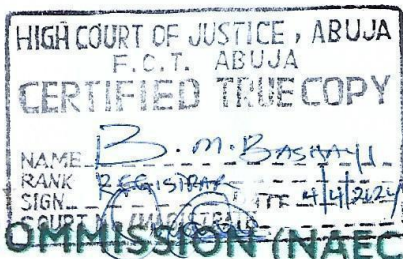
THE PRESIDENT

NIGERIA ATOMIC ENERGY COMMISSION (NAEC)

(Established by Act 46 of 1976)

No. 9 Kwame Nkrumah Crescent, Asokoro, P.M.B 646, Garki, Abuja, Nigeria

Prof. Yusuf A. Ahmed, FRSC, FNAE
Chairman/CEO



Справка о Внедрении Результатов Научных Исследований Орумо Бьенмотей Кенолл

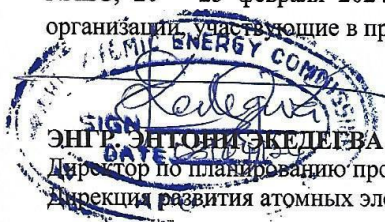
Диссертационное исследование Орумо Б.К. на тему: «Радиационно-экологические аспекты строительства АЭС в Федеративной Республике Нигерия» весьма актуально и представляет практический интерес для планирования, размещения, проектирования и реализации ядерно-энергетической программы Комиссии по атомной энергии Нигерии NAEC в Нигерии.

Результаты диссертационного исследования, представленные г-ном Орумо Б.К., использовались и внедрялись в Комиссии в следующих областях:

Подготовка соответствующих материалов для обучения в области радиационного мониторинга на АЭС, в программе которой участвует Нигерия, является вторым камнем МАГАТЭ. Диссертационное исследование было использовано в составе учебных материалов 7-9 февраля 2024 г. на Национальном семинаре заинтересованных сторон по оценке экологической безопасности и нормативной документации для отдельных ядерных площадок, организованном Дирекцией развития атомных электростанций (NPPD), с привлечением заинтересованных сторон организации, участвующие в программе ядерной энергии Нигерии.

Результаты социально-экономического анализа в работе внедрены и использованы для подготовки документов ТЭО АЭС и подготовки кадров для ТЭО в Нигерии.

Аспект радиационного воздействия и защиты, а также результаты социального и экологического анализа работы были использованы в рамках учебных документов для Комиссии в ее программах пропаганды и просвещения для заинтересованных сторон и населения для принятия программы АЭС в Нигерии из-за существующей радиофобии в стране. Диссертационное исследование было использовано в составе учебных материалов национального семинара по пропаганде и просвещению в области реализации и оценки ядерно-энергетических программ с заинтересованными сторонами, организованного Отделом информации и связей с общественностью NAEC, 20 - 23 февраля 2024 года, путем привлечения вместе заинтересованные организации, участвующие в программе ядерной энергии Нигерии.



Assess
fee - #700
анию (PSDL),
RM - 13229075
Date - 4-4-24

Tel: +234 8139009344, +234 8032856771 E-mail: naec@naec.gov.ng www.naec.gov.ng