

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РГГМУ)

На правах рукописи



НГУЕН ФЫОНГ ДОНГ

**РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИНДОКИТАЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К
ОСОБЕННОСТЯМ РАССЕЯНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ
ОТ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ АВАРИЙНЫХ ВЫБРОСОВ АТОМНЫХ
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Российский государственный гидрометеорологический университет»

Научный руководитель: Доктор физико-математических наук, профессор, Гаврилов Александр Сергеевич.

Официальные оппоненты: Волкодаева Марина Владимировна, доктор технических наук, СПб «Институт Проектирования, Экологии и Гигиены», Санкт-Петербург.
Липовицкая Ирина Николаевна, кандидат географических наук, СПб «Центр изысканий и экспертизы», Санкт-Петербург.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский научно-исследовательский центр экологической безопасности Российской академии наук, Санкт-Петербург.

Защита состоится «10» мая 2018 г. в 15 часов 30 минут на заседании диссертационного совета Д.212.197.01 в Российском государственном гидрометеорологическом университете по адресу: 195196, Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98, тел. 8 (812) 633-01-82, 372-50-92.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Российского государственного гидрометеорологического университета по адресу: 195196, г. Санкт-Петербург, Малоохтинский пр., 98.

Ваш отзыв на автореферат просим направлять по адресу 192007, Россия, Санкт-Петербург, ул. Воронежская, дом 79. Российский государственный гидрометеорологический университет, Диссертационный совет Д.212.197.01, Ученому секретарю.

Автореферат разослан «__» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
к.ф.-м.н., доцент



Л.В. КАШЛЕВА

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Последние несколько десятилетий в мире наблюдалась тенденция к устойчивому росту потребления электроэнергии, в среднем на 1,5–2% в год. Страны на полуострове Индокитай, как и многие окружающие страны региона (Китай, Бангладеш, Малайзия) также показали весьма высокую динамику роста потребления электроэнергии.

Рост потребления электроэнергии, в значительной степени, зависящей от импорта ископаемого топлива, а также сопутствующие экологические проблемы, побудили страны региона искать эффективные пути для удовлетворения высокой потребности в ней национальных экономик. Одним из таких путей является ядерная энергетика, которая становится реальной альтернативой, способной в будущем обеспечить эти страны необходимым количеством энергии.

Первые предварительные исследования, посвященные развитию атомной энергетике в Индокитае, были в начале 1980-х годов во Вьетнаме. Аналогичные амбиции проявляют такие быстро развивающиеся страны, как Таиланд и Мьянма.

Все страны Юго-Восточной Азии, заинтересованные в развертывании ядерной энергетике, сталкиваются с серьезными проблемами. Сюда входит поиск необходимого капитала на благоприятных условиях, создание нормативно-правовой базы, соблюдение международных норм и правил, поиск и обучение квалифицированного технического персонала и регулирующих органов, обеспечение общественной поддержки и радиационной безопасности.

Важную роль здесь играет и отсутствие достаточно густой сети метеорологических наблюдений (тем более на малонаселенных территориях), а также наработанных методик гидрометеорологического обеспечения безопасности атомных электростанций (АЭС) для тропической зоны.

Немалое значение для принятия решений имеют и последствия некоторых крупных радиационных аварий, таких как в 1986 году на Чернобыльской атомной электростанции, в 1979 году на Three Mile Island АЭС в США, на АЭС Фукусима-1 в 2011 году в Японии, а также некоторые другие, меньшего масштаба, которые способствовали большей осторожности в принятии решений.

Все это вместе привело к необходимости проведения за последние годы серии исследовательских проектов на территории полуострова Индокитай по оценке последствий гипотетических аварий на атомных электростанциях для окружающей среды и населения в случае их размещения на этой территории.

Целью работы является районирование территории Индокитая по условиям атмосферного рассеяния радионуклидов, выбрасываемых от АЭС в результате возможных аварий.

Основные задачи исследований для достижения поставленной цели в диссертационной работе состоят в нижеследующем.

1. Обосновать принципиальные возможности применения современных методов моделирования атмосферного пограничного слоя (АПС), отработанных для умеренной зоны, к субэкваториальной зоне полуострова Индокитай.

2. Определить перечень параметров, характеризующих рассеивающие способности атмосферы исходя из сложившейся практики принятия управленческих решений в области природопользования.

3. Провести анализ доступных информационных ресурсов и сформировать архивы исходных данных для расчета в достаточном для статистического и пространственного анализа количестве.

4. Осуществить комплекс численных расчетов для территории полуострова Индокитай применительно к получению характеристик атмосферы, определяющих условия рассеяния радионуклидов.

5. Провести статистический анализ полученных результатов.

6. Построить карты территориального зонирования параметров, определяющих рассеивающие способности атмосферы.

Соответствие диссертации паспорту специальности: тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология: по п.14 (микроклимат природных объектов, микроклимат мегаполисов), п.16 (метеорология и экология), п.17 (прикладная климатология – атмосфера и строительство, медицина, курортология, транспорт, лесоведение).

Основными объектами исследования являются территория полуострова Индокитай, районы на юге Китая и территория Бангладеш, где возможно в будущем расположение источников выброса радиоактивных веществ, в том числе, непосредственно от элементов технологического обеспечения АЭС, а также хранилищ радиоактивных отходов.

Методической основой диссертационного исследования послужили современные требования по безопасности АЭС, достижения в области физики атмосферного пограничного слоя и численного моделирования атмосферных процессов.

Методологической основой диссертационного исследования послужили труды российских и зарубежных ученых как в области обеспечения безопасности ядерных объектов: Ф.Пэскуилл (F.Pasquill) и Ф.Гиффорд (F.Gifford), так и в области физики атмосферного пограничного слоя: А.С.Монин, А.М. Яглом, Дж.А. Бузингер (J.A. Businger), Дж.К. Вингаард (J.C.Wyngaard), Р.Дж. Лэм (R.G. Lamb), С.Р.Ханна (S.R.Hanna), Д.Л.Лайхтман, С.С.Зилитинкевич, Б.Г. Вагер, А.С. Гаврилов.

Информационной основой диссертационного исследования являлись данные 39 метеостанций региона, а также данные аэросиноптического реанализа для данной территории за период 2005-2015 годы.

Научная новизна состоит в том, что впервые для территории полуострова Индокитай проведен комплексный статистический и климатологический анализ, построены климатологические карты характеристик атмосферы, определяющих условия атмосферного рассеяния и осаднения на поверхность радионуклидов от гипотетических аварийных выбросов АЭС.

Практическая значимость работы заключается в следующем.

Проведенные исследования позволят обеспечить требуемые нормативными документами проектные величины максимальных значений факторов разбавления/осаждения радионуклидов высоких уровней обеспеченности (до 99.5%) от аварийных выбросов АЭС, необходимые для достижения безопасности функционирования АЭС в течение всего нормативного срока их эксплуатации (до 50 лет).

Положения и результаты, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования сохранения на территории Индокитая закономерностей формирования вертикальной структуры АПС, характерных для умеренной зоны.
2. Результаты численного моделирования вертикальной структуры АПС и статистического анализа его характерных особенностей, определяющих условия переноса и рассеяния радионуклидов на территории Индокитая.
3. Результаты статистического анализа выбранных индикаторов турбулентного рассеяния в атмосфере и осаждения радионуклидов на поверхность.
4. Результаты районирования территории Индокитая по условиям переноса, рассеяния и осаждения радионуклидов от гипотетических аварийных источников их выброса.

Обоснованность и достоверность результатов определяются использованием современных методов численного моделирования АПС, а также статистической обеспеченностью рассчитанных характеристик рассеивающей способности атмосферы.

Апробация результатов. Материалы диссертации докладывались на Итоговых сессиях Ученого Совета РГГМУ в 2015 и 2016 годах, а также научных семинарах кафедры МКОА РГГМУ.

Публикации. По теме диссертации имеется 4 публикации, в том числе 3 работы – в рецензируемых журналах из Перечня ВАК.

Личный вклад автора. Личный вклад автора состоит в формулировке задач работы, разработке и практической реализации позиций, выносимых на защиту, а также проведении комплекса расчетов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложения. Работа изложена на 119 страницах, содержит 33 рисунков, 23 таблиц и список использованной литературы, включающий 42 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приводится обоснование актуальности темы диссертационной работы, описываются проблемы, ставятся задачи диссертационного исследования, обосновывается научная новизна полученных результатов, их практическая значимость и определяются положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена описанию географического положения Индокитая.

Территорию Индокитая можно разделить на шесть основных физико-географических областей: северо-западные горы Мьянмы и долина Иравади, Шанское нагорье и Центральная горная система, горные системы и обширные дельты Вьетнама, нагорья и обширное плато Таиланда, низменности Камбоджи и Таиланда, полуостров Малакка.

Гидрологическая сеть характеризуется рядом особенностей, связанных с климатом и расположением горных хребтов. Режим рек Индокитая сильно отличается от режима рек умеренных широт. Из-за большого годового количества осадков, которые интенсивно выпадают в сезон дождей, количество воды, поступающее в водосборный бассейн и выносимое в море, в индокитайских реках в несколько раз больше, чем в умеренных широтах.

Климат здесь имеет характерные черты тропической муссонной зоны. Муссонам на территории Индокитая благоприятствуют два основных фактора:

географическое положение полуострова между экватором и северным тропиком и особенности рельефа. Регулярное сезонное чередование направления ветра от северного (зимой) и южного (летом), контролирует практически все аспекты условий климата. Однако, из-за сложной конфигурации рельефа здесь существует целый ряд особенностей локального климата.

Для этого региона на севере можно установить 4 сезона: холодный и сухой сезон длится с конца ноября по февраль (зима); жаркий, сухой, с крайне переменными ветрами, длится с марта по май (весна); сезон юго-западного муссона длится с июня до конца сентября (лето), а прохладный сезон с периодом ослабления муссона с конца сентября по начало ноября (осень).

Важную роль играют юго-западные экваториальные муссоны, приносящие основную массу влаги на большую часть полуострова, вследствие этого западное побережье является самым влажным его районом. Годовое количество осадков здесь достигает 3000 мм, и 80 % их выпадает в летние месяцы. В северной части Индокитая муссон приходит со стороны Южно-Китайского моря и меняет на суше за счет рельефа направление на юго-восточное с выпадением значительных осадков. Этот процесс часто сопровождаются тропическими тайфунами, проносящимися над Индокитаем с июля по сентябрь.

Наиболее сложную в этом районе атмосферную циркуляцию порождают процессы взаимодействия муссонов и пассатов в южной части Индокитая.

Вторая глава содержит обоснование методики расчета характеристик нижней тропосферы, определяющих условия атмосферных загрязнений в целом и радионуклидов в частности.

Применительно к получению на стадии проектирования АЭС разного рода оценок условий рассеяния радионуклидов действует единая методология, сформулированная в документах по безопасности МАГАТЭ, предусматривающая три основных направления исследований.

1. Первичный (предпроектный) уровень исследования, включающий:

- сведения о направлении и скорости ветра в приземном слое;
- характеристики термической устойчивости атмосферы в приземном слое.

2. Детализированный уровень - изучение для региона строительства АЭС климатических характеристик вертикальной структуры нижней тропосферы, в частности:

- вертикальные градиенты температуры и скорости ветра;
- высоты приземных инверсий температуры;
- высоты и мощности приподнятых инверсий температуры;
- высоты слоя перемешивания;
- вероятность штилей и слабых ветров.

3. Проектный уровень исследования, включающий расчет максимальных значений факторов разбавления и осаждения высоких уровней статистической обеспеченности (до 99.5%).

Для первичного уровня исследования вполне достаточно ограничиться данными стандартных гидрометеорологических наблюдений на метеостанциях. Для расчета характеристик термической устойчивости атмосферы здесь применяется методика Пэскуилла-Гиффорда, на основе которой первоначально рассчитываются весьма грубые параметры, такие как категории устойчивости. При этом вводятся так называемые «литеральные» обозначения для этих категорий: А – предельно неустойчивая или наиболее неустойчивая; В – умеренно-неустойчивая; С – слабо неустойчивая; D – нейтральная; Е – слабо устойчивая; F – умеренно устойчивая и G – сильно устойчивая. Получение по данным метеостанций статистики этих категорий очень важно для последующего расчета условий рассеяния нуклидов, поскольку все эмпирические коэффициенты в принятых методиках расчета привязаны именно к ним.

На следующей стадии исследования, на площадке строительства АЭС размещается специализированная метеостанция, оборудованная градиентной мачтой, а также, по возможности, разнообразными средствами вертикального

зондирования нижнего слоя тропосферы: оборудованием для запуска шаров-пилотов, содарами, лидарами и профилимерами.

За период проектирования и строительства (5-7 лет) здесь, в принципе, должна накапливаться информация, обеспечивающая детализированный уровень исследования. К сожалению, проектирование и развертывание такого рода полноценной системы наблюдений также требует времени, так что ряды получаемых в итоге данных оказываются весьма короткими, что препятствует переходу к третьей, проектной стадии. Здесь для получения характеристик рассеяния радионуклидов при наихудших условий требуется получение статистически достоверных значений максимальных их величин с обеспеченностью до 99.5%, для чего, вообще говоря, требуется весьма продолжительные ряды регулярных наблюдений (не менее 10 лет ежечасных наблюдений).

Проблема могла бы быть разрешена, если бы имеющиеся в окрестности территории строительства АЭС метеостанции были бы оборудованы градиентными мачтами с измерением на регулярной основе температуры и скорости ветра на различных уровнях. Однако, столь качественное метеорологическое обеспечение находится за пределами существующих требований Всемирной Метеорологической Организации (ВМО) и достигается в настоящее время только в некоторых развитых странах и на территории Индокитая отсутствует.

По этой причине возникают проблемы разработки таких методов расчетов и анализа, которые позволили бы использовать только доступные данные для соответствующего региона. В число доступных помимо данных синоптических метеостанций входят также и данные реанализа аэросиноптических процессов (архивы данных о температуре, влажности и скорости ветра на стандартных изобарических поверхностях).

Подобная методика в настоящее время разработана, а реализующее ее Программное Средство (ПС) RiskZone v.1.0 (авторы Гаврилов А.С., Баранова М.Е., Карасева М.А., Фролов А.С., Харченко Е.В) прошло аттестацию в 2015

году в Научно-техническом центре ядерной и радиационной безопасности (НТЦ ЯРБ). Оно допущено Ростехнадзором РФ для использования при проектировании всех АЭС, сооружаемых при участии Российской Федерации.

Данное программное средство и было использовано для проведения всех последующих расчетов в настоящем диссертационном исследовании.

Краткое изложение расчетной модели АПС, закладываемой в данное ПС, содержится в **разделе 2.2** диссертации.

При этом, однако, потребовалось провести специальное исследование возможности применения на территории Индокитая упомянутой численной модели АПС, поскольку в ее основу заложена возможность использования геострофического соотношения, справедливого для умеренной зоны, но которое в окрестности экватора из-за малых значений силы Кориолиса может нарушаться.

Результаты подобного исследования изложены в **разделе 2.3** диссертации.

Здесь предпринята попытка изучить статистическую взаимосвязь компонент скорости ветра в свободной атмосфере с рассчитанными значениями этих величин на основе геострофического соотношения в широтном диапазоне от 0 до 24 градусов северной широты. В качестве исходных данных для решения поставленной задачи использовались данные реанализа атмосферных процессов применительно к изобарической поверхности 850 гПа (высота около 1.5 км) от Национального центра моделирования окружающей среды (National Center for Environment Prediction - NCEP, США). Для этой цели был создан архив компонент скорости ветра и высоты геопотенциала для сроков 03, 09, 15 и 21 часов за период с 1.01.2006г. по 31.12. 2009г. с пространственной дискретностью 2.5 дуговых градуса.

Пример расчетных значений коэффициентов корреляции фактических и геострофических значений модуля скорости ветра в свободной атмосфере в зависимости от широты для различных долгот приведен на Рисунке 1.

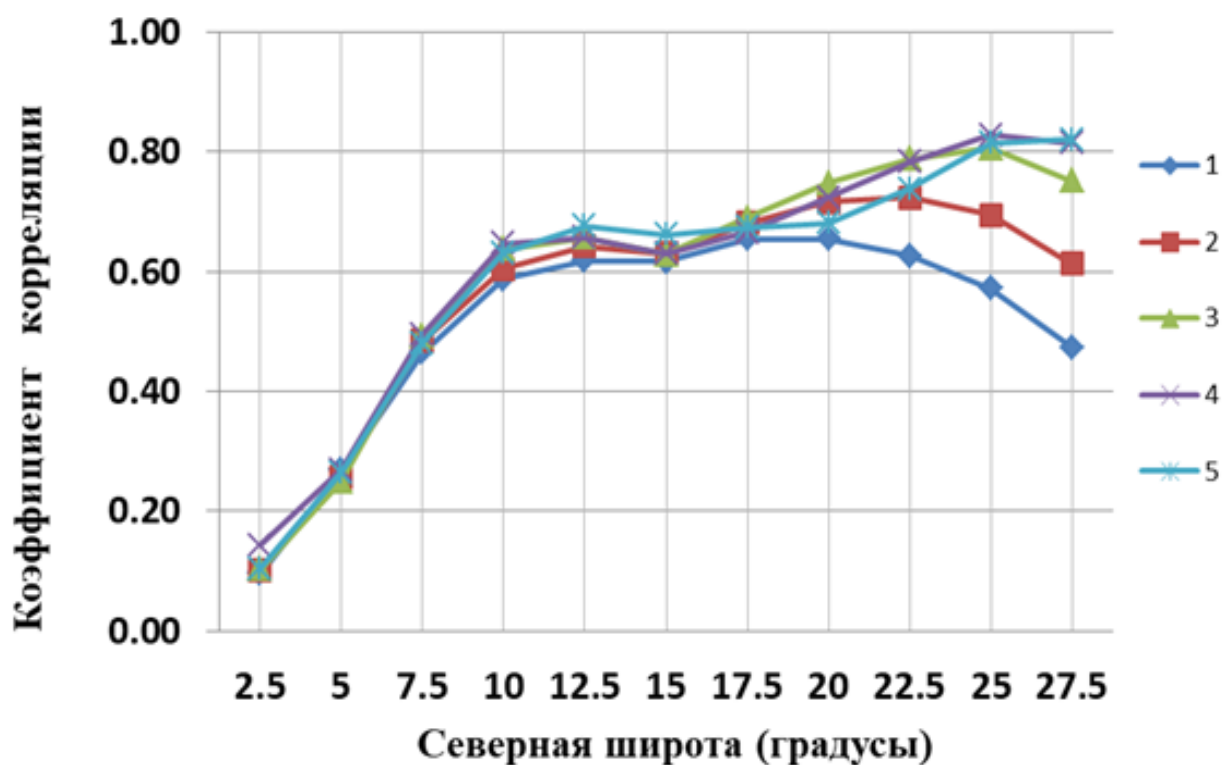


Рисунок 1 – Широтные зависимости рассчитанных коэффициентов корреляции для различных долгот (1 – 105⁰, 2 – 107,5⁰, 3 – 110⁰, 4 – 112,5⁰, 5 – 115⁰ в.д.).

Подводя итоги проведенного исследования, можно с уверенностью утверждать, что для территории Индокитая в диапазоне от 7,5⁰ до 27,5⁰ с.ш. геострофические соотношения выполняются с достаточной точностью, а значит и закономерности формирования атмосферного пограничного слоя остаются такими же, как и в областях, для которых разрабатывалась и верифицировалась численная модель АПС, заложенная в ПС RiskZone v.1.0.

В третьей главе излагаются результаты численных расчетов вертикальной структуры АПС на основе упомянутого в п. 2.2 программного средства.

В качестве исходных привлекались данные стандартных метеорологических измерений на 39-ти метеостанциях ВМО (Рисунок 2) за период 2005 –2015 годов, оформленные в виде архива, синхронизированного

по времени с архивом данных реанализа в широтно-долготной сетке 2.5 градуса на изобарических поверхностях 925,850 и 700 гПа.

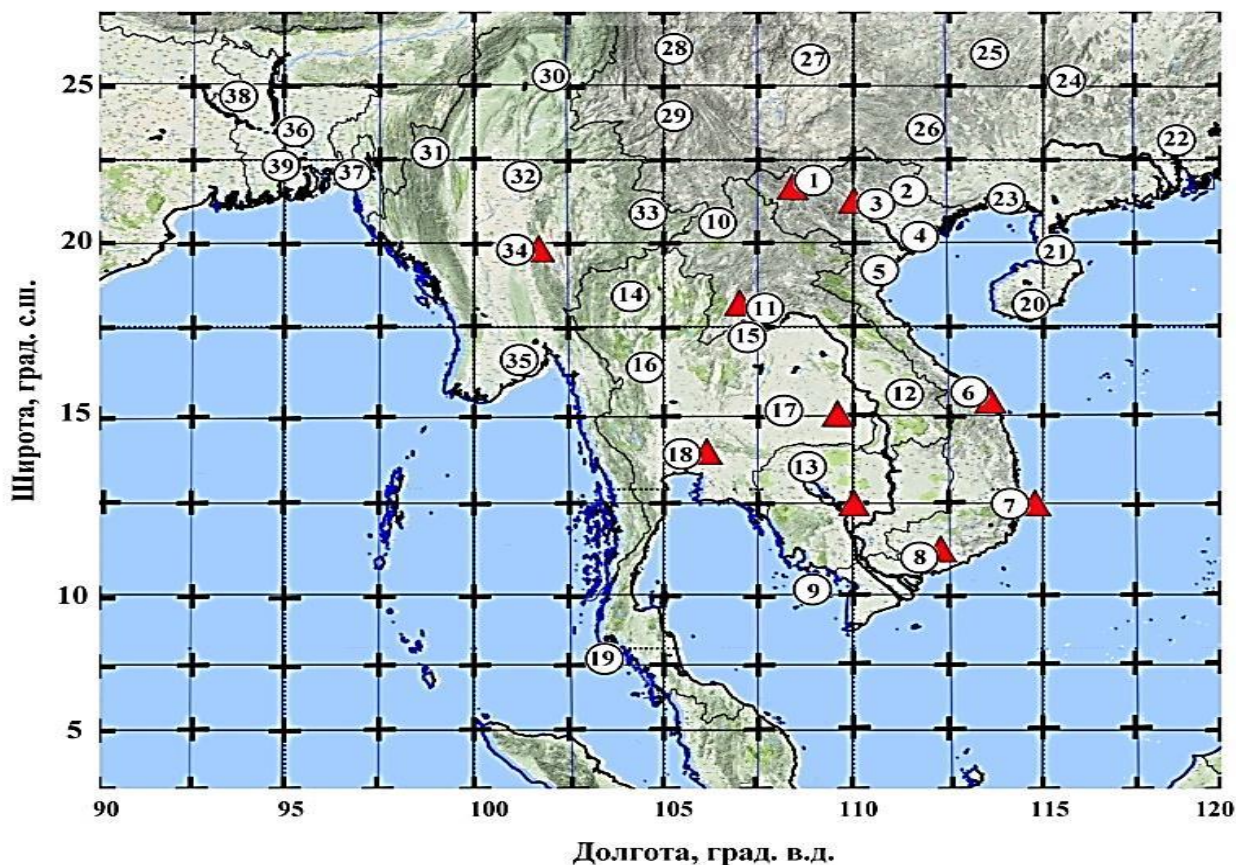


Рисунок 2 - Карта информационного покрытия территории Индокитая.

Кружки с номером – метеостанции ВМО, крестики – узлы регулярной сетки с данными реанализа.

Далее в этой главе последовательно анализируются расчетные профили скорости и направления ветра до высоты 3км над точками расположения каждой метеостанции Индокитая (раздел 3.3), высота слоя перемешивания (раздел 3.4), распределение зон штилевых ветров (раздел 3.5.1), вертикальная протяженность приземных штилевых слоев (раздел 3.5.2), временной ход штилевых ветров (раздел 3.5.3), средние значения продолжительности штиля (раздел 3.5.4), повторяемость приземных инверсий температуры (раздел 3.6), повторяемость приподнятых инверсий и их мощности (раздел 3.7), а также повторяемость категорий устойчивости атмосферы (раздел 3.8).

Для всех этих характеристик построены карты по всей территории Индокитая, примеры которых представлены на Рисунках 3 и 4. Для каждой характеристики такого рода в соответствующих разделах главы 3 проведен анализ причин того или иного пространственного их распределения.

Так, например, для таких ситуаций, как штиль, показано, что почти над всем полуостровом Индокитая отмечается увеличение повторяемости слабых ветров от лета к зиме.

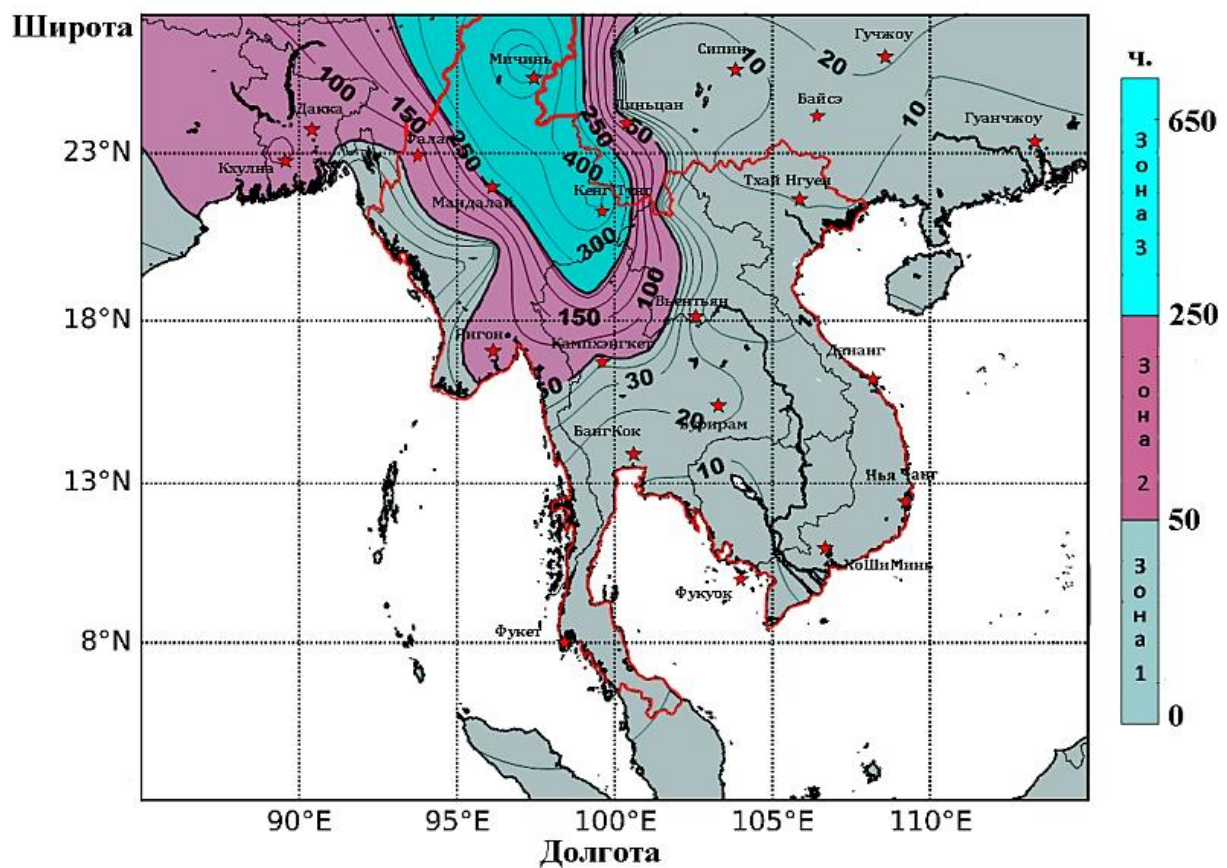


Рисунок 3 – Зоны различной непрерывной продолжительности штилей (скорость ветра ≤ 1 м/с) в часах над территорией Индокитая за год в градации высот 0 – 50 м.

Широта, град. с.ш.

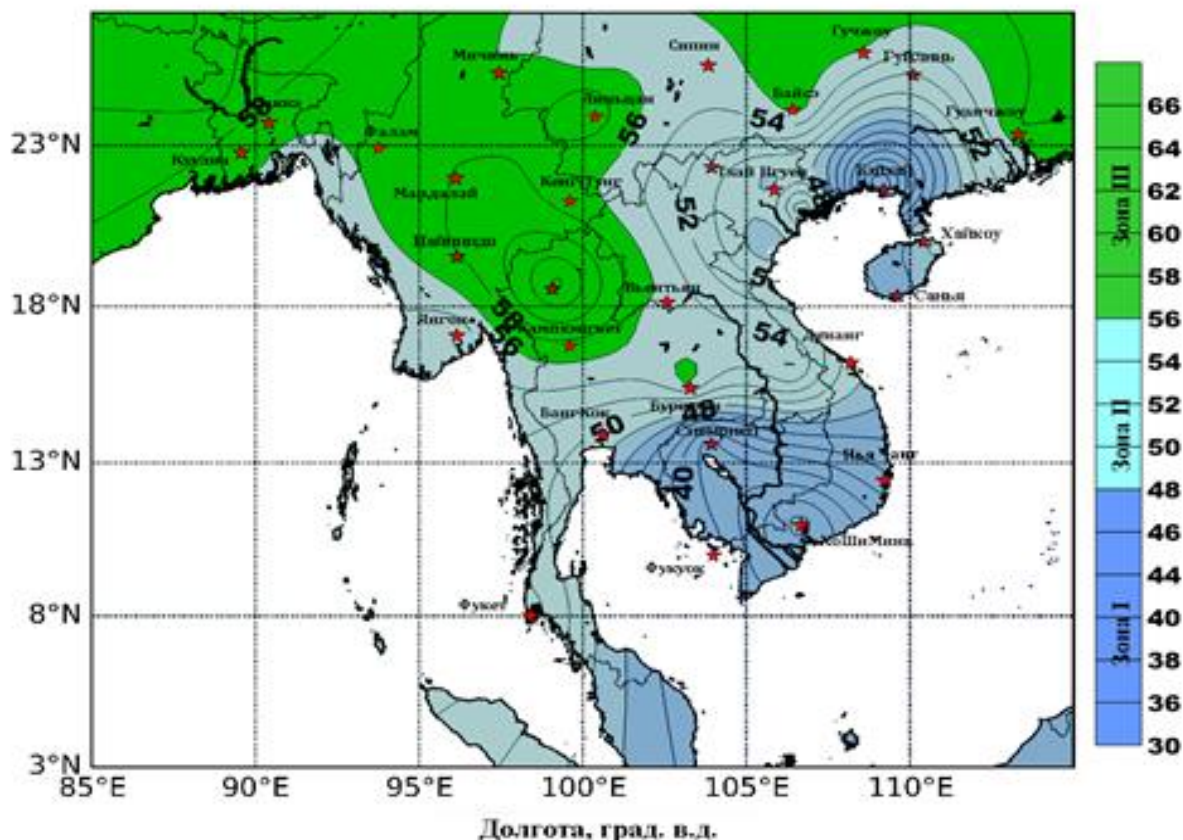


Рисунок 4 – Повторяемость приземных инверсий (%) за год в приземном слое.

При этом можно выделить три основных типа временного хода повторяемости слабых ветров ≤ 1 м/с:

Тип 1 – зимний период максимум (октябрь - ноябрь) и весной минимум повторяемости слабых ветров (март – май).

Тип 2 – летний максимум (июль – сентябрь) и зимний минимум повторяемости слабых ветров (декабрь - февраль).

Тип 3 – повторяемость слабых ветров незначительно меняется в течение года.

Амплитуда повторяемости слабых ветров весьма различна и зависит не только от времени года, но и от географического расположения. Например, если районы находятся в защищенных условиях гор от юго-западного ветра (хребет Танентаунджи и хребет Чыонгшон), то летом они характеризуются слабыми ветрами, причем их повторяемость в это время года возрастает и

достигает максимума. В зимнее полугодие влияние в этих районах северо-восточного муссона и повторяемость слабых ветров минимальна.

В четвертой главе излагается методика и результаты исследования климатологических характеристик факторов разбавления и осаждения радионуклидов.

В основе современной системы оценки последствий гипотетических аварий на стадии проектирования АЭС для всех регионов их проектирования и строительства с участием России используется методика МПА-98. Эта методика применяется, в первую очередь, для оценки радиационной обстановки на местности, причем при этом следует ориентироваться на наихудшие условия рассеяния радионуклидов в атмосфере.

В разделе 4.1 кратко излагается основное содержание методики МПА-98, а также особенности ее реализации в ПС RiskZone.

За основу принимается ситуация прохождения через фиксированную точку пространства облака радионуклидов от аварийного выброса единичной мощности с объемной активностью, нормированной на суммарный выброс: $G(x,y,z,t)$, $1/\text{м}^3$. Эту функцию и принято называть «фактором разбавления», поскольку определяющим фактором изменения этой функции во времени служат именно процессы турбулентного рассеяния («разбавления»), а такие процессы как радиоактивный распад не учитываются. При этом рассчитывается интеграл по времени от этой функции за все время прохождения облака на уровне подстилающей поверхности ($z = 0$) и вдоль траектории его смещения ($y = 0$):

$$G_0(x) = \int_0^{\infty} G(x, 0, 0, t) dt \quad (1)$$

Аналогичный смысл имеет и так называемый «фактор осаждения» $F(x, y, z, t)$, $1/\text{м}^2 \text{ с}$, определяющий интенсивность сухого и влажного (вымывание) осаждения радионуклидов на подстилающую поверхность:

$$F_0(x) = \int_0^{\infty} F(x, 0, 0, t) dt \quad (2)$$

Функции $G(x, y, z, t)$ и $F(x, y, z, t)$ в настоящее время могут быть рассчитаны с использованием самых разнообразных математических моделей, однако требования по безопасности МАГАТЭ, а следовательно, и документ МПА-98, опираются исключительно на упрощенные модели гауссового типа, хорошо апробированные за десятилетия развития ядерной энергетики.

В разделе 4.1.1 диссертации дано краткое описание такого рода алгоритмов.

В качестве исходных данных для их реализации используются получаемые на основе изложенной в главе 2 методики расчетные характеристики атмосферного пограничного слоя, а также данные об интенсивности осадков за период 2005-2015 годов для всех 39-ти метеостанций региона. Для каждой метеостанции общая длина выборки по результатам расчетов за каждый час суток составляла, таким образом, $10 \cdot 365 \cdot 24 = 87600$ значений интегралов (1) и (2).

В качестве примера физических параметров источников выбросов принималась его высота $h=50$ м, диаметр выходного отверстия $D=1$ м, скорость истечения газов из источника $0,1$ м/с, а также их температура – 30^0 С. Рассматривался аэрозольный выброс с размером частиц 10 мкм. При этом интегралы (1) и (2) рассчитывались для двух расстояний от источника: 5 км (ближняя зона влияния) и 10 км (дальняя зона влияния).

Выбранные параметры являются в определенной степени типичными при проектировании систем безопасности АЭС и нисколько не снижают общность подхода при исследовании пространственной изменчивости расчетных величин для всей территории Индокитая.

Далее, по полученным для каждой метеостанции выборкам расчетных значений, путем стандартной статистической обработки осуществлялось определение максимальных значений интегралов (1) и (2) с уровнями обеспеченности: 95 и 99.5% . Именно таким образом в данном случае математически конкретизировалось понятие «наихудшие условия рассеяния».

В разделе 4.2 подробно излагаются результаты расчета максимальных интегралов от факторов разбавления с различными уровнями обеспеченности.

Районирование для территории Индокитая по этим индикаторам позволяет вполне отчетливо выделить три основные зоны значений факторов разбавления: зона низких значений (зона I), зона средних значений (зона II) и зона высоких значений (зона III).

В качестве примеров приведем Рисунок 5 с результатами расчета максимальных значений интеграла от фактора разбавления с обеспеченностью 95% на удалении 5 км от источника. Как можно видеть из рисунка, зона I охватывает обширные территории низменности на юге Индокитая, а также большие районы юго-восточной части Китая. Сопоставление с расчетами характеристик АПС показывает, что здесь, в среднем за год, повторяемость слабых ветров ≤ 1 м/с не превышает 50 %, а повторяемость приземных инверсий температуры за год составляет 30-48%.

Широта, град. с.ш.

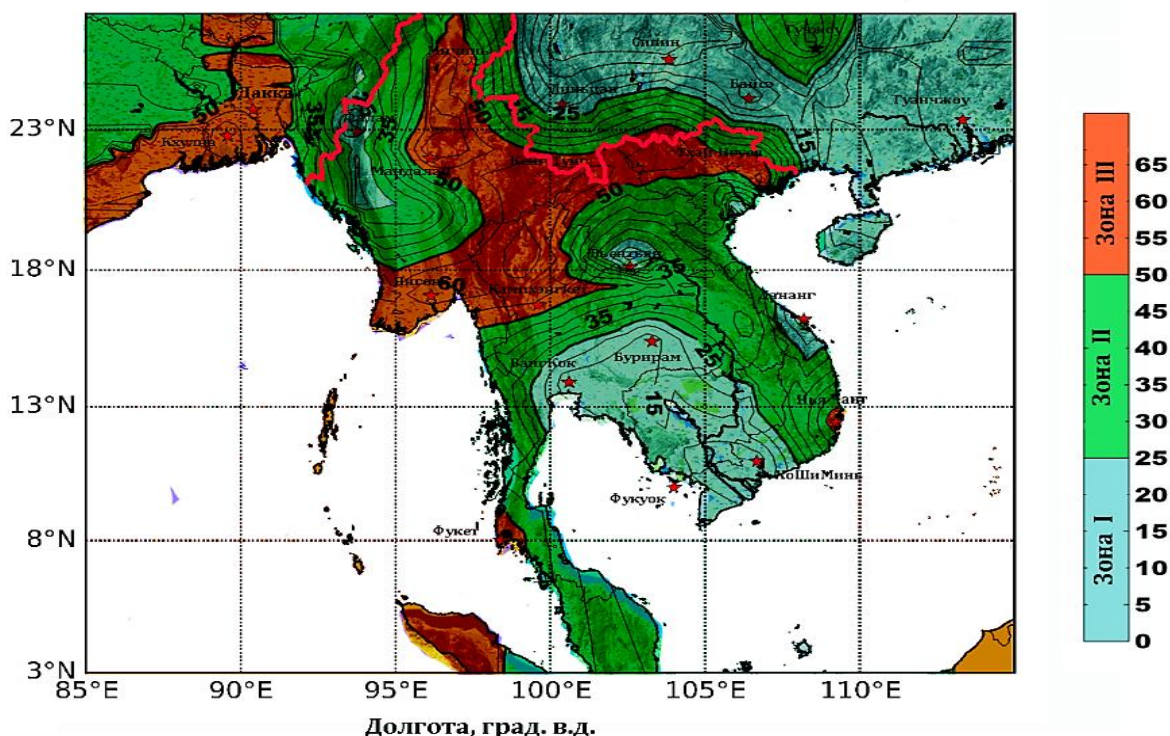


Рисунок 5 – Пример карты Индокитая с расчетными значениями максимальных интегралов факторов разбавления с обеспеченностью 95% (умноженного на 10^6 , с/м³) на удалении 5 км от источника.

Зона II включает обширную территорию Лаоса, Центральной части Вьетнама, большинство северной и полуостровной частей Таиланда, а также часть центральной области Мьянма. Что касается зоны высоких значений – зоны III, то как видно из рисунка, она располагается, главным образом, в северной и центральной частях Индокитая.

В разделе 4.3 анализируются результаты расчета максимальных интегралов от факторов осаджения.

Пример карты Индокитая с расчетными значениями максимальных интегралов факторов осаджения с обеспеченностью 95% (умноженного на 10^6 , $1/m^2$) на удалении 5 км от источника представлен на Рисунке 6.

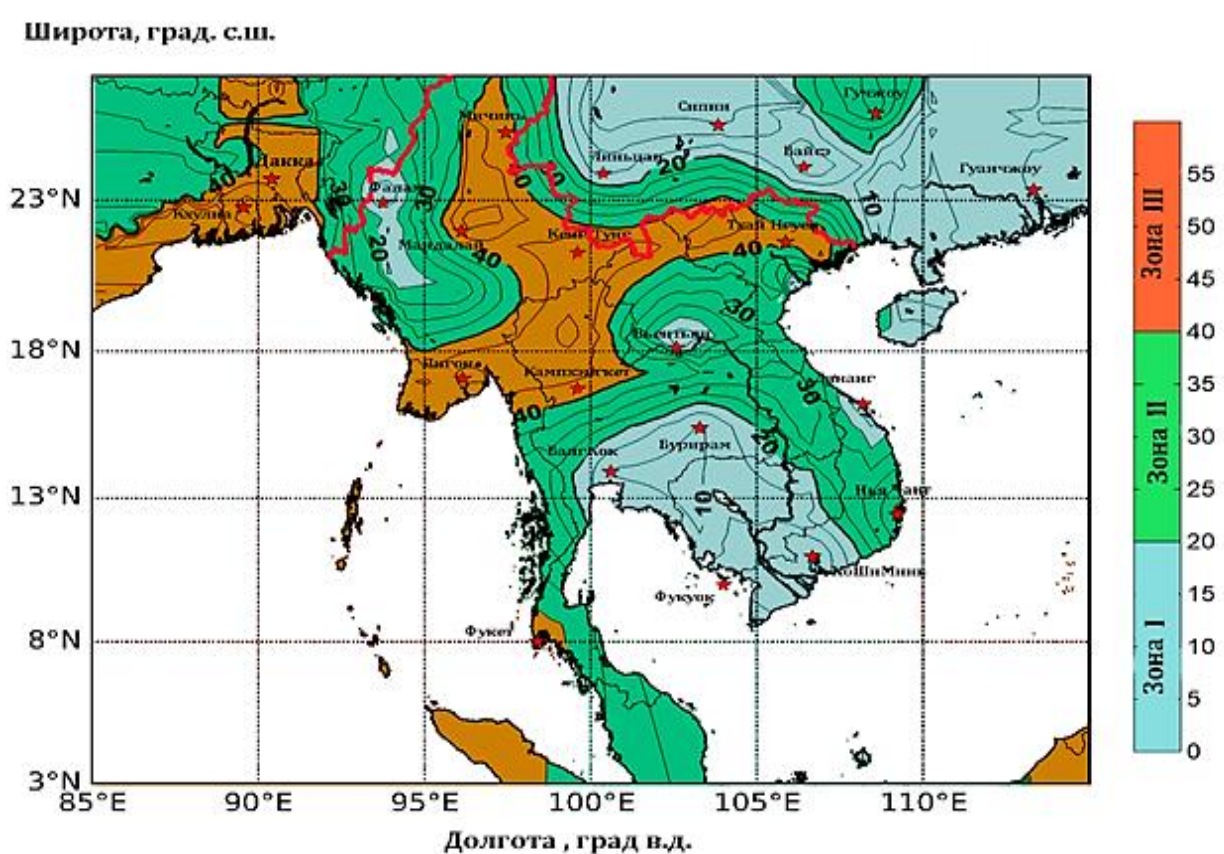


Рисунок 6 – Пример карты Индокитая с расчетными значениями максимальных интегралов факторов осаджения с обеспеченностью 95% (умноженного на 10^6 , $1/m^2$) на удалении 5 км от источника.

Если наложить карту максимальных интегралов факторов осаджения на аналогичную карту для факторов разбавления, то можно увидеть, что они во

многим совпадают. Это вполне понятно, поскольку интенсивность сухого осаднения прямо пропорциональна интегралу по вертикали от активности радионуклидов.

Однако, есть и различия, связанные, преимущественно, с влажным осаднением (вымыванием радионуклидов осадками), поскольку интенсивность осадков в Индокитае неоднородна по пространству из-за влияния рельефа.

Сопоставляя топографию Индокитая с расчетными картами факторов разбавления/осаднения, можно сделать вывод, что низкие значения используемых индикаторов совпадают, преимущественно, с расположением долин со сравнительно незначительной высотой рельефа.

Особенно это проявляется на юге области (Бурирам, Бангкок, Сиенриеп и Хошимин), а также в Центральной части Индокитая (Вьентьян) и в юго-восточных районах Китая (Бэйхай, Санья, Хайкоу и Гуанчжоу). Климат местности характеризуется здесь наличием выраженной муссонной циркуляции, обилием инсоляции и высокой температурой с весьма незначительной суммой осадков за год (достигает 1500 мм).

Зона средних значений находится в невысоких горных местностях или в долинах. В этой зоне преобладает, в основном, субэкваториальный климат. Для него характерны жаркий влажный сезон с апреля по ноябрь и прохладный сухой сезон в декабре – марте. Среднее количество осадков от 1500–2500 мм.

Что касается зоны высоких значений, то, как видно из рисунка, она располагается, главным образом, в северной и центральной частях Индокитая, где находятся сравнительно высокие горные массивы. В пределах Лаоса и Мьянмы имеется Шанское нагорье, которое образует труднодоступный горный район с высотами 2000–2500 м. В северной части Вьетнама на границе с Китаем, а также на крайнем западе области располагаются горные массивы высотой до 3000 м. Зона средних значений индикатора занимает, как можно видеть, промежуточные территории с переходными формами климата.

Все эти особенности отчетливо проявляются и в расчетных повторяемостях категорий устойчивости Пэскуилла–Гиффорда. В зоне низких

значений индикатора преобладают, в основном, условия нейтральной или слабоустойчивой стратификации (категории D и E). Основной причиной здесь является высокое значение скорости ветра на равнинах.

Для высоких уровней значений индикатора характерны, наоборот, очень низкие уровни повторяемости нейтральной и слабоустойчивой стратификации, но зато резко возрастают вероятности условий конвекции (категории A и B), а также умеренной и сильной устойчивости (категории F и G). Причины подобного явления – наличие сравнительно слабого ветра в горных долинах и выраженный суточный ход температуры воздуха.

В заключении диссертации перечислены основные результаты проведенного исследования, в частности.

1. Обоснована принципиальная возможность применения современных методов моделирования атмосферного пограничного слоя, отработанных для умеренных широт, к субэкваториальной зоне полуострова Индокитай севернее 7.5⁰ с.ш.

2. Определен перечень параметров, характеризующих рассеивающие способности атмосферы исходя из сложившейся практики принятия управленческих решений в области природопользования. Обоснован выбор индикаторов атмосферы, определяющих условия рассеивания в атмосфере радионуклидов от гипотетических выбросов АЭС.

3. Проведен анализ доступных информационных ресурсов и сформированы архивы исходных данных для расчета в достаточном для статистического и пространственного анализа количестве.

4. Осуществлен комплекс численных расчетов для территории полуострова Индокитай применительно к получению характеристик нижней тропосферы, определяющих условия рассеяния радионуклидов; проведен статистический анализ полученных результатов и построены карты их пространственного распределения.

5. Осуществлено районирование территории полуострова Индокитай с выделением областей с минимальным и максимальным влиянием гипотетических аварийных выбросов АЭС на население и окружающую среду.

Публикации соискателя по теме диссертации

В изданиях из перечня ВАК:

1. Гаврилов А.С., Харченко Е.В., Донг Н.Ф., Хи Н.Д. Управление рисками при авариях на атомных электростанциях с использованием математических моделей переноса и рассеяния нуклидов в атмосфере. Естественные и технические науки. – 2015. - №3. С. 247-250.

2. Гаврилов А.С, Донг Н.Ф., Хи Н.Д. О возможностях использования геострофического соотношения в тропической зоне// Ученые записки РГГМУ 2016. Вып. 42. – С. 104–108.

3. Баранова Е.М., Гаврилов А.С, Донг Н.Ф. Климатологические аспекты обеспечения безопасности ядерных объектов применительно к территории Индокитая// Ученые записки РГГМУ 2017. Вып. 46. – С. 71–78.

В других изданиях:

1. Gavrilov A.S., Kharchenko E.V., Ngo D.H., Nguen F.D. Radiation exposure risk assessment for population in case of accidents at NPP using planetary boundary layer model. –Proceedings of the IV International conference "Academic Science – problems and achievements". - North Charleston, USA, 2014. – Vol. 3. P. 197-200.