



Российская Академия Наук

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № NSI-1996-03

Preprint NSI-1996-03

**Беликов В.В., Беликова Г.В., Фокин А.Л., Семенов В.Н.,
Сороковикова О.С., Стародубцева Л.П.**

**АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ
МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В
АТМОСФЕРЕ С ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛЬЮ,
ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ
ПАКЕТЕ «NOSTRADAMUS»**

Москва 1996

Moscow 1996

Беликов В.В., Беликова Г.В., Фокин А.Л., Семенов В.Н., Сороковикова О.С., Стародубцева Л.П. Анализ сравнения нормативных моделей переноса радионуклидов в атмосфере с лагранжевой моделью, используемой в интегрированном пакете «NOSTRADAMUS». / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № NSI-1996-03. — М.: 1996. — 12 с. — Библиогр.: 15 назв.

Аннотация

В работе проведено сравнение двух нормативных гауссовых методик для моделирования распространения радионуклидов в атмосфере, действующих на территории России и Америки с лагранжевой стохастической моделью ИБРАЭ РАН, включенной в интегрированный пакет «NOSTRADAMUS». Показано, что в рамках условий, для которых накоплен экспериментальный материал, используемый этими гауссовыми моделями, модельные результаты, получаемые с использованием всех трех методик, близки. Если условия распространения примеси отличны от упомянутых, результаты лагранжевой модели переноса могут значительно отличаться от результатов нормативных моделей. На отдельных примерах путем сравнения модельных результатов с экспериментальными данными показано, что в отличие от гауссовых нормативных методик лагранжева модель адекватно описывает изменчивость параметров облака в нестандартных условиях.

© ИБРАЭ РАН, 1996

Belikov V.V., Belikova G.V., Fokin A.L., Semenov V.N., Sorokovikova O.S., Starodubtseva L.P. COMPARATIVE ANALYSIS OF NORMATIVE MODELS FOR THE TRANSFER OF RADIONUCLIDES IN THE ATMOSPHERE WITH LAGRANGE'S MODEL, USED IN THE INTEGRATED PACKAGE "NOSTRADAMUS". Preprint NSI-1996-03. Moscow. Nuclear Safety Institute. 1996. 12 p. – Refs.: 15 items.

Abstract

This article presents the results of comparison of two atmospheric radionuclides transport normative methods (Russia and USA) with lagrangian stochastic one, developed in IBRAE RAS for integrated system "Nostradamus". It is shown that for standard conditions where there are many experimental observations, the results of all methods are near. For nonstandard conditions (small or big wind speed) the results of the normative methods are distinguish from experience, but lagrangian model describes such phenomena adequately.

АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ С
ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛЬЮ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПАКЕТЕ "NOSTRADAMUS".

Беликов В.В., Беликова Г.В., Фокин А.Л., Семенов В.Н., Сороковикова О.С., Стародубцева Л.П.

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ .
2. СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ С ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛЬЮ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПАКЕТЕ "NOSTRADAMUS".
3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ.
4. ЛИТЕРАТУРА.

АНАЛИЗ СРАВНЕНИЯ НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ С ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛЬЮ, ИСПОЛЪЗУЕМОЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПАКЕТЕ "NOSTRADAMUS".

Беликов В.В., Беликова Г.В., Фокин А.Л., Семенов В.Н., Сороковикова О.С., Стародубцева Л.П.

ВВЕДЕНИЕ

Для расчета переноса радионуклидов в атмосфере в качестве нормативных моделей используются гауссовы модели. Как показывают многочисленные эксперименты /1/ горизонтальное распределение частиц в струе или облаке на незначительных от источника расстояниях близко к нормальному.

Сомнения возникают в отношении допустимости нормального приближения по отношению к вертикальному распределению примеси, особенно в случае неустойчивой атмосферы. При таких условиях наблюдается возникновение структурированных конвективных течений, подобных известным ячейкам Бернара /1,2/. В этом случае трудно ожидать, что распределение частиц по вертикали в облаке примеси, будет близко к нормальному закону. Существуют эксперименты, которые выявляют неудовлетворительность такого предположения /2/.

Этот факт не уменьшает значимость и практическую ценность гауссовых моделей. Причина этого заключается в следующем.

Анализ сводки экспериментальных данных по атмосферной диффузии /1/, на основе которых строятся аналитические аппроксимационные формулы зависимости размеров облака примеси от расстояния до источника показал, что ни в одном из проведенных экспериментальных исследований не удалось получить достаточно материала о распределении примеси по вертикали. Поэтому оценки вертикальной дисперсии чаще всего определялись косвенным путем. Наибольший практический интерес представляет распределение плотности примеси у поверхности земли. Приземная концентрация как правило измеряется в эксперименте. Зная ее и предполагая гауссово вертикальное распределение концентрации, получают косвенные оценки для вертикальной дисперсии примеси.

Вне зависимости от того, что в целом трехмерная структура облака примеси может заметно отличаться от гауссовой (неучет наблюдаемого перемещения по вертикали центра масс облака /1,3/, отклонение от нормального распределения), гауссовы модели дают представление об ожидаемой концентрации примеси у поверхности земли в зависимости от условий распространения на основе большого экспериментального материала.

Однако, использование этих данных, как и любого другого материала, основанного на обобщении данных эксперимента, допустимо только для условий, в рамках которых они получены. Любое отклонение от средних типичных метеорологических условий, для которых параметры дисперсии примеси изучены экспериментально и накоплен достаточный статистический материал, требует осторожного использования гауссовых методик. Вне этих условий рекомендуется использование моделей другого типа или теоретических замыкающих предположений /3,4/. Для корректного использования гауссовых методик условия распространения примеси специально обговариваются в обзорных и справочных работах /3,4/, однако при практическом использовании на этот факт часто не обращают внимания.

В данной работе проведено сопоставление результатов моделирования переноса, полученных по трем моделям.

Первая модель - модель, включенная в действующие на территории России рекомендации по оценке радиационных последствий облучения населения при авариях и преднамеренных разрушениях атомных станций /5/.

Вторая модель - гауссова модель, наиболее широко используемая в Америке и Европе в качестве нормативной, основана на аппроксимационных формулах для горизонтальной и вертикальной дисперсии примеси /3/. Она является базовой /6,14/ в рекомендациях Агентства по охране окружающей среды США (Environmental Protection Agency) по оценке последствий радиационных и других промышленных выбросов и включена во многие Европейские пакеты.

Третья модель - модель, включенная в интегрированный пакет "NOSTRADAMUS" /7/, разработанный в ИБРАЭ РАН и предназначенный для поддержки принятия решений при авариях на атомных станциях и других ядерно-опасных объектах. В нее включена лагранжева стохастическая модель переноса радионуклидов. Она предназначена для расчета распространения примеси в атмосфере в зависимости от метеорологической ситуации, характера подстилающей поверхности и других факторов, в том числе с учетом горизонтальной, вертикальной и временной неоднородности поля скоростей. В рамках этой модели можно учитывать большее количество факторов, влияющих на характер распространения примеси по сравнению с упомянутыми выше гауссовыми моделями.

Качество лагранжевой модели, включенной в интегрированный пакет "NOSTRADAMUS", как и любой другой модели определяется степенью адекватности модельных результатов действительности.

В этой связи необходимо, чтобы в рамках условий, для которых собран и обобщен экспериментальный материал, используемый в упомянутых выше двух гауссовых методиках, результаты по приземным концентрациям примеси, полученные с использованием всех трех моделей, были близки. Близость результатов определяется рамками разброса между различными аппроксимациями данных различных серий экспериментов.

В данной работе показано, что в условиях, где использование гауссовых нормативных методик наиболее корректно, все три методики дают близкие результаты.

Вне этих условий результаты могут сильно отличаться. При этом лагранжева модель дает результаты лучше соответствующих экспериментам, чем гауссовы методики.

СРАВНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ НОРМАТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ В АТМОСФЕРЕ С ЛАГРАНЖЕВОЙ МОДЕЛЬЮ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ИНТЕГРИРОВАННОМ ПАКЕТЕ "NOSTRADAMUS" .

Наиболее часто используемая в качестве нормативной в Америке и Европе гауссова методика /3/ (аппроксимационные формулы Бригса-Гиффорда) основана на трех сериях натуральных экспериментов, в сочетании с использованием теоретического замыкающего предположения о корневой зависимости горизонтального размера от расстояния.

Полученные в результате аналитические аппроксимации для горизонтальной и вертикальной дисперсии облака примеси считаются статистически наиболее обеспеченными, хотя на расстоянии больше одного километра все равно приходится привлекать дополнительные теоретические соображения из-за разброса в данных эксперимента. Этим объясняется имеющий место, как будет продемонстрировано далее, разброс в максимальных значениях концентраций на оси следа, получаемый с использованием разных нормативных методик. Большая часть экспериментов проведена с приземными источниками и двумя типами подстилающей поверхности: гладкая поверхность (шероховатость порядка 3 см) и промышленная зона или городская застройка (шероховатость поверхности около 1м). Скорость ветра в этих экспериментах лежала в диапазоне 5-10м/сек. Это и есть условия корректного применения гауссовых методик.

Наряду с гауссовой методикой /3/ в данной работе рассматривается другая нормативная гауссова модель, включенная в действующие на территории России рекомендации по оценке радиационных последствий облучения населения при авариях и преднамеренных разрушениях атомных станций /5/.

По сравнению с моделью /3/, в /5/ используется упрощенный вариант зависимости горизонтальной дисперсии примеси от шероховатости поверхности. Для поверхности с любой шероховатостью считается, что горизонтальная дисперсия такая же как для гладкой поверхности (аппроксимационные формулы Бригса-Гиффорда). Для вертикальной дисперсии используется более детально табулированная функция в зависимости от шероховатости поверхности.

Именно для этих условий проведено сопоставление гауссовых методик и лагранжевой методики ИБРАЭ.

Для шести классов устойчивости (по Пэсквиллу/13/) проведено сравнение результатов использования двух нормативных гауссовых методик /3,5/ и стохастической модели ИБРАЭ РАН. Стохастическая модель использует деление на семь классов устойчивости Тернера с поправками /13/. Соответствие между классами согласно /3/: А-1, В-2, С-3, D-4, Е-6, F-7. Во всех трех случаях предполагается приземный источник с единичной мощностью, ветер $v=7.5$ м/сек. расчеты проводились для двух типов поверхностей $z=0.03$ м и $z=1$ м.

Модельные результаты сравнивались по двум наиболее важным при практическом использовании параметрам: максимумам приземной концентрации на оси следа и ширине следа (горизонтальной дисперсии облака примеси у поверхности земли).

На рис. 1 представлены модельные результаты, характеризующие горизонтальную дисперсию облака примеси у поверхности земли согласно трем моделям: гауссовым моделям /3/,/5/ и лагранжевой стохастической моделью ИБРАЭ РАН. Результаты соответствуют случаю распространения примеси над гладкой подстилающей поверхностью.

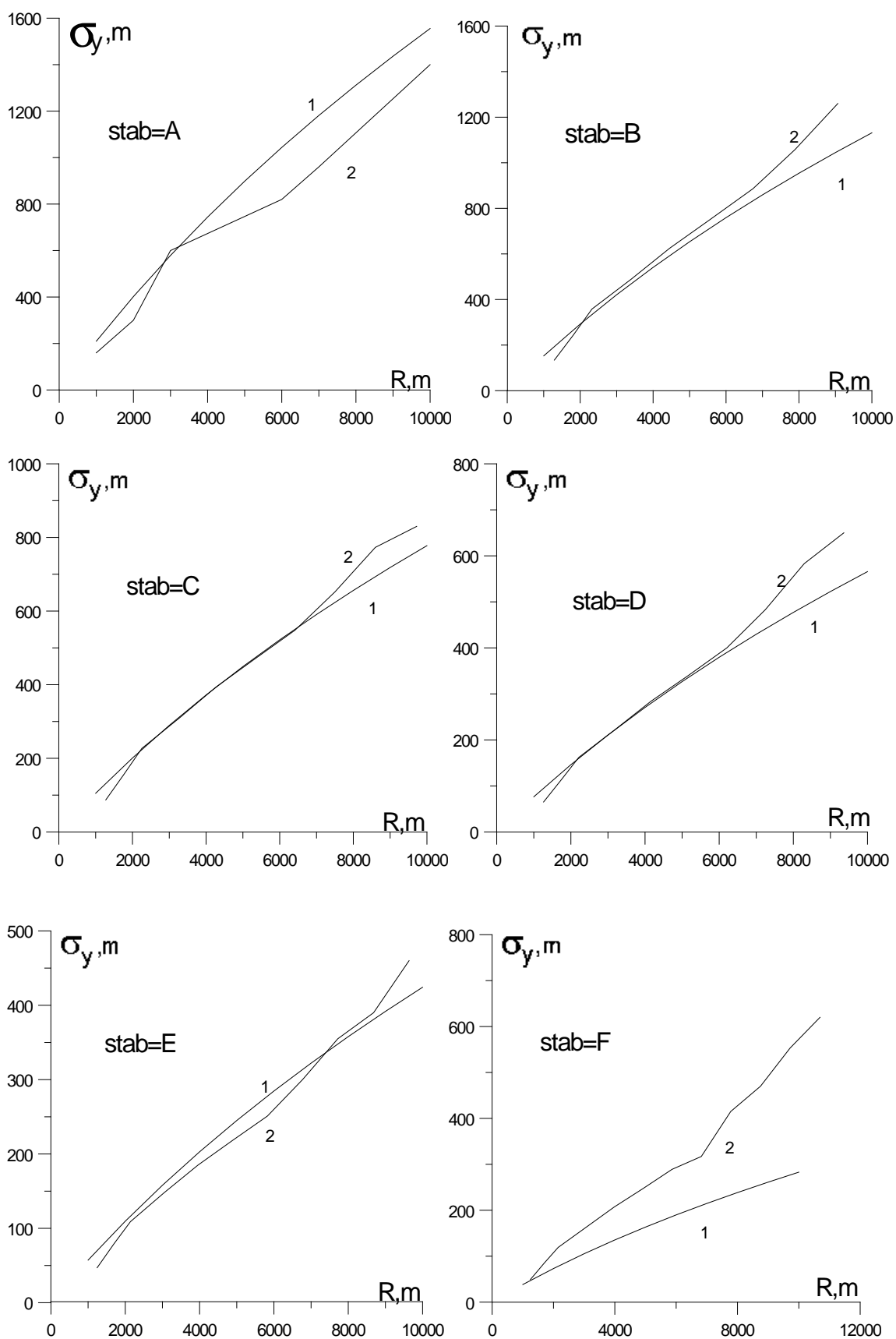


Рис.1 Зависимость горизонтального размера облака от расстояния для разных классов устойчивости.
 1 - Гауссовы модели [3] и [5], 2 - Лагранжева модель. Шероховатость $z=0.03m$

Для классов устойчивости A,B,C,D,E горизонтальные дисперсии облака примеси всех трех моделей близки. Заметное отличие наблюдается лишь для класса F. Для этого класса разброс экспериментальных данных наиболее велик, и расхождение моделей остается в пределах этого разброса.

На рис. 2 представлена горизонтальная дисперсия облака примеси, распространяющегося над шероховатой поверхностью (промышленной зоной, городской застройкой). Результаты расчетов по лагранжевой модели занимают промежуточное значение между методиками /3/, /5/, большей частью ближе, а иногда практически совсем совпадая с методикой /5/.

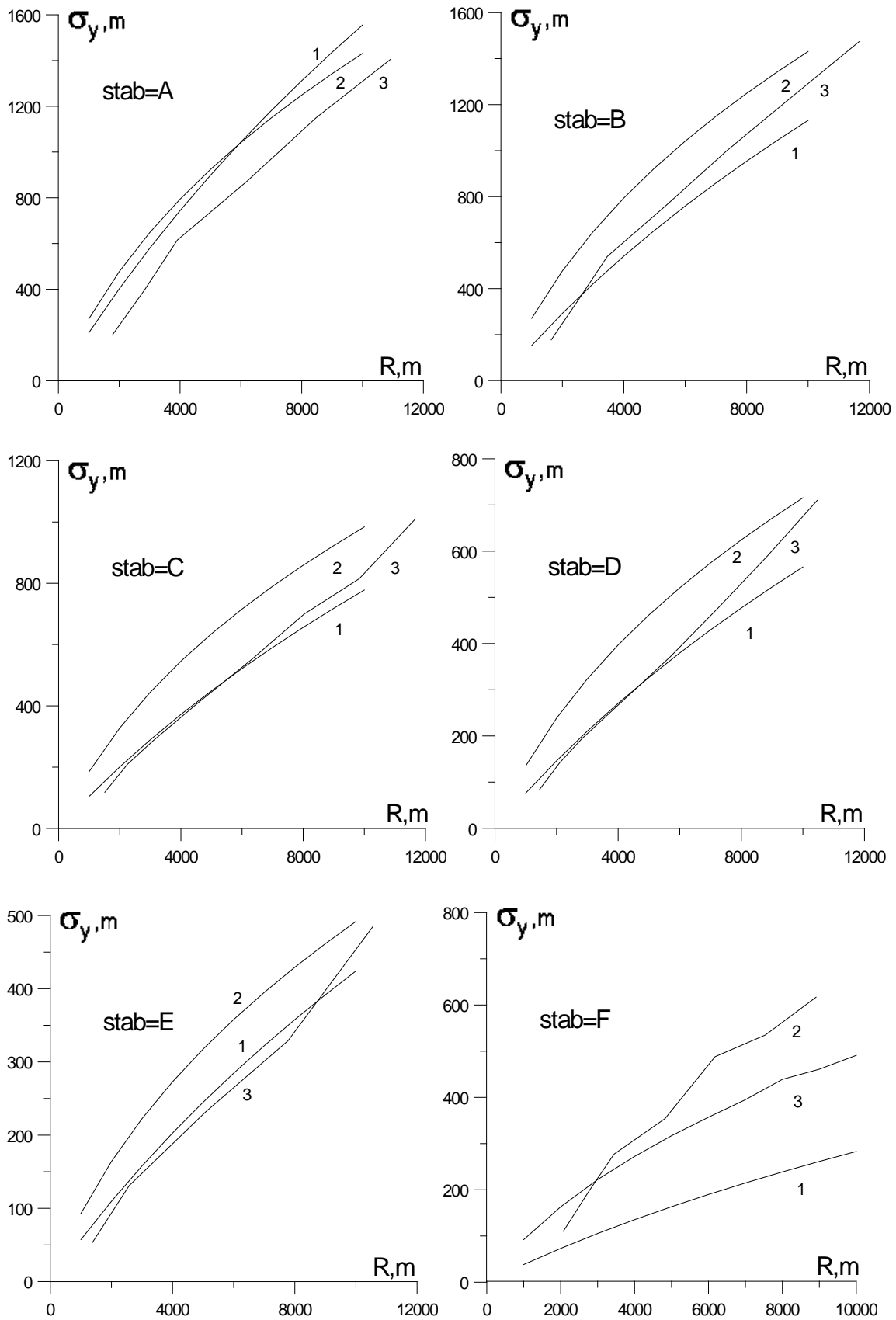


Рис.2 Зависимость горизонтального размера облака от расстояния для разных классов устойчивости.

1-Гауссова модель [5], 2-Гауссова модель [3], 3-Лагранжева модель. Шероховатость $z=1\text{ м}$.

Модельные результаты расчета максимальной концентрации на оси следа для шести классов устойчивости (распространение над гладкой поверхностью) по методикам [3],[5] и с использованием лагранжевой модели, представлены на рис.3.

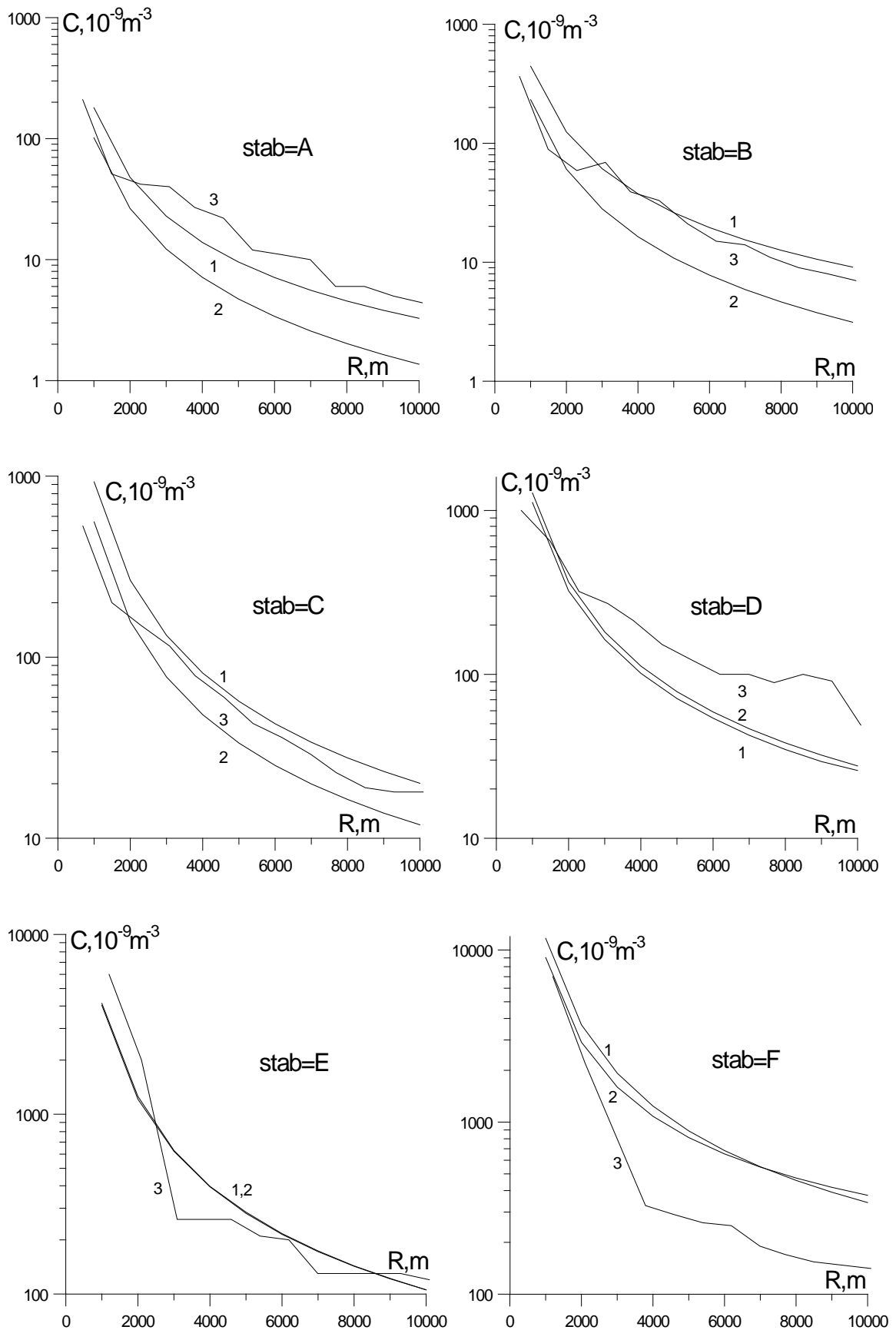


Рис.3 Нормированная концентрация на оси следа для разных классов устойчивости.

1-Гауссова модель [5], 2-Гауссова модель [3], 3-Лагранжева модель. Шероховатость $z=0.03\text{м}$

Аналогичные результаты при распространении примеси над поверхностью с большой шероховатостью представлены на рис.4.

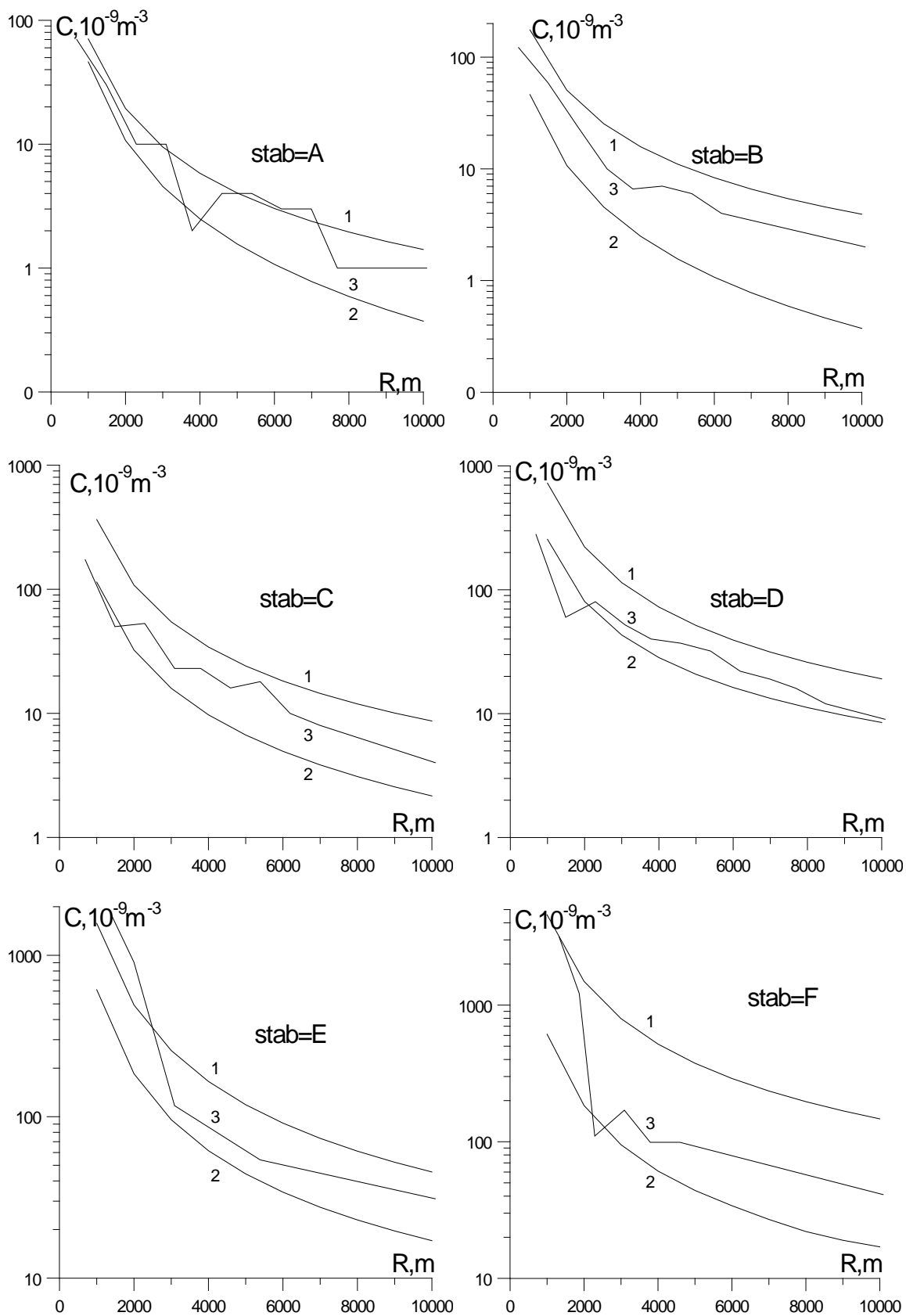


Рис.4 Нормированная концентрация на оси следа для разных классов устойчивости.

1-Гауссова модель [5], 2-Гауссова модель [3], 3-Лагранжева модель. Шероховатость $z=1\text{м}$.

Результаты расчетов по лагранжевой модели близки к нормативным, давая в среднем промежуточные значения между ними.

Таким образом, для типичных условий, для которых накоплен на сегодняшний день достаточный статистический материал и для которых наиболее корректно использование соответствующих гауссовых моделей, лагранжева стохастическая модель ИБРАЭ РАН дает близкие к нормативным моделям результаты.

Для условий, не совпадающих с типичными, результаты могут различаться значительно.

В этом случае экстраполяция экспериментальных данных на другие условия в разных моделях делается по-разному. В гауссовых моделях выведенные из эксперимента зависимости размеров струи от расстояния прямо переносятся на другие условия. В лагранжевой модели такая экстраполяция делается с учетом законов подобия для турбулентного атмосферного погранслоя [15].

В результате в гауссовых методиках для заданного класса стабильности размеры облака считаются не зависящими ни от скорости ветра, ни от высоты источника. В модели [5] горизонтальная дисперсия не зависит от шероховатости.

В лагранжевой модели, учитывающей вертикальную структуру погранслоя [7-12], размеры облака зависят не только от расстояния, но и от скорости ветра, от высоты источника и от шероховатости. Такие зависимости соответствуют экспериментальным наблюдениям.

Так, в ряде экспериментов наблюдается существенная зависимость дисперсии облака от высоты источника [8-11]

На различных высотах параметры интенсивности турбулентного обмена различны даже для одного и того же класса устойчивости. Средний поворот ветра с высотой тоже носит разный характер на разных высотах. Последнее существенно сказывается на дисперсии примеси по горизонтали. Поэтому для одного и того же класса устойчивости атмосферы, дисперсия облака примеси для источника на высоте 50 и 100 метров по данным некоторых авторов может отличаться на порядок как в горизонтальном, так и в вертикальном направлениях /8-11/. В целом же из сопоставления данных различных групп авторов можно заключить, что даже по характеру зависимости параметров дисперсии от высоты источника нет единого мнения. Такой важный вопрос как рост или убывание параметров дисперсии с высотой не решается однозначно для всех высот. На некоторых высотах отмечается их рост с высотой, на некоторых - убывание /8-11/.

По данным экспериментов, проведенных КФК /9/, для приподнятых источников, в отличие от наземных, не наблюдается резкого уменьшения ширины следа облака с ростом устойчивости. Наоборот, для высоких источников порядка 150-200 метров при очень устойчивой ситуации ширина следа практически такая же как для неустойчивой ситуации. Эти закономерности качественно отражаются лагранжевой моделью NOSTRADAMUS [11].

Рассмотрим подробнее данные, относящиеся к разным скоростям ветра при одном классе устойчивости.

В рамках одного и того же класса устойчивости метеорологическая ситуация может различаться заметно. Разделение на классы по Пэсквиллу, в случае, если недоступна непосредственная информация о температурном градиенте в приземном слое, основывается на косвенных данных. Так, например, при скорости ветра более 7.5м/сек на уровне 10 метров считается, что стратификация нейтральная независимо от степени инсоляции. Это очень упрощенное предположение справедливо лишь в среднем. Однако может встретиться ситуация сильно отличающаяся от средней. При любом ветре может существовать такой перепад температур поверхность-атмосфера, когда атмосфера может быть неустойчивой или наоборот устойчивой.

При малых и больших скоростях по сравнению со средними (5-10м/с), для которых получено большинство экспериментального материала, параметры облака значительно отличаются от средних /1/. Тоже самое можно сказать о высоких источниках в сравнении с приземными /8-11/.

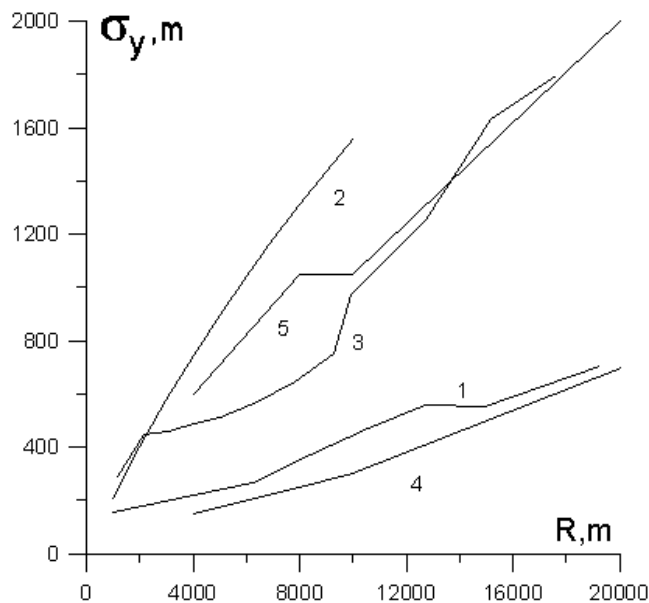


Рис.5 Сопоставление экспериментальных данных по горизонтальному размеру облака с результатами по разным методикам. 1,3- модель ИБРАЭ, скорость ветра 30 м/сек и 3 м/сек соответственно; 4,5- данные эксперимента, скорость ветра 30 м/сек и 3 м/сек соответственно; 3 Гауссова модель [3], класс А.

На рис.5 представлены модельные результаты и данные экспериментов, проведенных при маленькой и очень большой скорости ветра. Стратификация устойчивая. Высота источника 200 метров. Скорость ветра соответственно 3м/с и 30м/с. Поверхность с большой шероховатостью (1м). Отметим, что для большой скорости ветра модельная горизонтальная дисперсия облака примеси практически совпадает с соответствующей аппроксимационной кривой Пэсквилла для класса устойчивости F. Анализ результатов математического моделирования, полученных с использованием лагранжевой модели переноса, и сравнение их с результатами эксперимента показывают, что модель адекватно описывает изменчивость параметров облака примеси в рассмотренных нестандартных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование стохастической лагранжевой модели переноса радионуклидов в атмосфере, включенной в интегрированный пакет "NOSTRADAMUS", предназначенный для поддержки принятия решений в аварийных ситуациях на радиационно-опасных объектах, для условий, в которых применение двух наиболее известных нормативных методик (российской и американской, используемой также во многих европейских странах) корректно, дает очень близкие результаты.

Условия близости результатов использования лагранжевой модели ИБРАЭ РАН и упомянутых нормативных методик:

- горизонтальная и временная однородность поля ветра;
- расстояния до величин порядка десяти километров от источника;
- расположение источника вблизи поверхности;
- средние скорости ветра (ветер порядка 5-10м/сек).

Если условия распространения примеси отличны от перечисленных, модельные результаты, полученные на основе использования лагранжевой модели переноса, могут значительно отличаться от нормативных моделей. Путем сравнения модельных результатов с экспериментальными данными показано, что в отличие от нормативных методик лагранжева модель адекватно описывает изменчивость параметров облака в нестандартных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Н.Л.Бызова, Е.К.Гаргер, В.Н.Иванов. Экспериментальные исследования атмосферной диффузии и расчеты рассеяния примеси. Л.: Гидрометеоздат, 1991, стр. 277.
2. Willis G.E., and Deardorff J.W. A laboratory model of diffusion into the convective planetary boundary layer.- Quart.J.Roy. Meteorol., 1958, vol. 15(3), pp. 324-327.
3. Steven R.Hanna, Gary A.Briggs, Rayford P.Hosker. Handbook on atmospheric diffusion. Technical Information Center U.S. Department of Energy 1982. p.91.
4. Roland R.Draxler. Diffusion and transport experiments. /Atmospheric Science and Power Production. V2, Chapter 9, pp. 367-422.
5. Сборник правил и норм по радиационной безопасности в атомной энергетике. Том 111. Министерство здравоохранения СССР - М. 1989.
6. User`s guide for CAP88-PC. U.S. Environmental protection agency. LasVegas, 1992.
- 7 R.V.Arutunjan, L.A.Bolshov, V.V.Belikov et. al. Models of radionuclides transport in atmosphere from integrated software package "NOSTRADAMUS". Preprint NSI-31-94. Moskow: Nuclear Safety Institute. September, 1994. p. 23.
8. М.Е.Берлянд. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоздат, 1985.
9. P.Thomas, S.Vogt, P.Gaglione. Mesoscale atmospheric experiments using tracer and tetroons simultaneously at Kernforschungszentrum Karlsruhe. KfK 4147 EUR 10907 EN, p. 112.
10. R.Martens, K.Mabmeyer, W.Pfeffer et.al. Besensaufnahme und bewertung der perzeit genutzen. Report GRS May 1987.
11. Carpenter K. An experimental forecast using a non-hydrostatic mesoscale model. - Quart.J.Roy.Met.Soc., 1979, v. 105. N. 445.
12. Арутюнян Р.В., Беликов В.В., Беликова Г.В. и др. Новые эффективные численные методики моделирования процесса распространения радионуклидов в атмосфере и их практическое использование. Известия АН (Энергетика), №4, 1995, с. 31-44.
13. Справочник. Атмосфера. – Л.: Гидрометеоздат, 1991, стр. 509.
14. Экологический программный комплекс для персональных ЭВМ / Под редакцией А.С.Гаврилова. Санкт-Петербург, Гидрометеоздат, 1992, стр. 165.
15. Монин А.С., Яглом А.М. Статистическая гидромеханика, - М.: Наука, 1967, 720 с.