

ОДЕССКИЙ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ЛАЗЫГИНА ОЛЬГА МАКСИМОВНА

УДК 551.509.313

КОМПЛЕКСНЫЙ МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЦИРКУЛЯЦИОННО-ТУРБУЛЕНТНОЙ  
СТРУКТУРЫ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ НАД ОГРАНИЧЕННОЙ ТЕР-  
РИТОРИЕЙ (НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОБЫЛЬСКИХ ДАННЫХ).

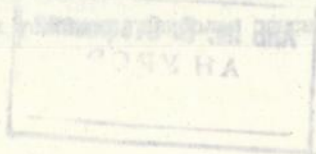
11.00.09—метеорология, климатология, агрометеорология

*Лазыгина*

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата  
географических наук

ОДЕССА—1992





Работа выполнена в Одесском гидрометеорологическом институте.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук,  
профессор Шнайдман Вольф Абрамович

Официальные оппоненты – доктор технических наук, профессор  
Школьный Е.П.,  
кандидат физико-математических наук  
ст. научный сотрудник  
Тарнопольский Л.Г.

Ведущая организация – Институт радиозвонкологии Украинской  
академии аграрных наук.

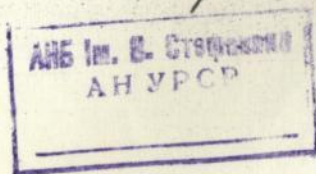
Защита диссертации состоится 19 ноября 1992 г. в 14<sup>00</sup> час.  
на заседании специализированного совета К 068.04.01  
в Одесском гидрометеорологическом институте, в ауд. 306  
по адресу: 270016, Одесса, ул. Львовская, 15, ОГМИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 19 октября 1992 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета

Лобода Н.С.



## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Проблема экологического мониторинга воздушного бассейна является чрезвычайно важной и требует детального метеорологического обеспечения. Для достоверной оценки распространения загрязняющих веществ в атмосфере необходимы сведения о циркуляционном режиме и интенсивности турбулентности в пограничном слое атмосферы. Это требует разработки оперативных методов восстановления характеристик трехмерной структуры циркуляционного режима и турбулентного обмена в различных метеорологических условиях. Разработка этих методов несомненно представляет актуальную задачу.

О необходимости таких разработок свидетельствует и тот факт, что несмотря на обилие работ по анализу распределения радиоактивных пятен в результате аварии на Чернобыльской атомной электростанции, детальные поля турбулентно-циркуляционных характеристик АПС над территорией, подверженной максимальному влиянию радиационных выбросов, исследованы недостаточно.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Целью работы является разработка оперативного метода количественной оценки трехмерной пространственно-временной структуры циркуляции и турбулентного обмена с достаточной дискретностью в горизонтальной и вертикальной плоскостях в пределах атмосферного пограничного слоя (АПС) и во времени.

Методика исследования предполагает обобщение данных аэрометеорологических наблюдений и результатов модельных расчетов. При этом, в разработанном методе особое внимание уделено восстановлению циркуляционно-турбулентного режима в метеорологических условиях, наиболее опасных с точки зрения

антропогенных загрязнений воздушного бассейна.

Для достижения намеченной цели были поставлены и решены следующие задачи:

- оценка полноты и качества исходной информации для моделирования циркуляционного режима и турбулентного обмена в АПС;

- адаптация одномерной модели АПС к исходной информации с целью наиболее полного усвоения данных наблюдений;

- разработка метода синтеза данных измерений и результатов расчета для количественного описания внутренней структуры АПС с высокой степенью дискретности;

- использование гидродинамической интерполяции для воссоздания трехмерной структуры АПС над ограниченной территорией;

- согласование измеренных и рассчитанных характеристик АПС в рамках комплексного метода;

- применение разработанного метода к решению задачи переноса радионуклидов в период Чернобыльской аварии.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА исследования состоит в том, что в нем впервые объединены методы оценки циркуляционного режима и турбулентного обмена на основе данных наблюдений и теории пограничного слоя атмосферы и создан оперативный комплексный метод количественного описания трехмерной структуры нижней атмосферы над ограниченной территорией.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ.

Разработанный оперативный метод может быть использован для диагноза и прогноза циркуляционно-турбулентных характеристик АПС при решении задач экологического мониторинга.

Результаты восстановления трехмерной пространственно-

временной структуры циркуляционного режима и турбулентного обмена в нижней атмосфере над территорией, подверженной загрязнению радионуклидами в результате аварии на ЧАЭС в период их максимальных выбросов используются для решения обратных задач по восстановлению параметров источников выбросов и оценке распределения радионуклидов на различном удалении от источника.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ И ПУБЛИКАЦИИ. Основные положения работы обсуждены и положительно оценены на расширенном семинаре кафедры теоретической метеорологии и метеорологических прогнозов ( июль 1992 г.), а также на семинаре рабочей группы динамики атмосферы Берлинского университета им. Гумбольта (май 1992 г.), доложены на научных конференциях ОГМИ.

По теме диссертации опубликованы две статьи.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА РАБОТЫ. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав и заключения, списка литературы из 64 наименований. Объем работы - 106 страниц машинописного текста, в том числе 19 рисунков и 7 таблиц.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ обоснованы актуальность темы исследования, сформулированы цель и основные задачи работы, составляющие ее новизну и являющиеся предметом защиты.

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ анализируются принципы моделирования структуры АПС с точки зрения полноты учета определяющих физических факторов и возможности оперативного применения моделей с целью диагноза и прогноза условий рассеяния примесей. При решении уравнения турбулентной диффузии примеси необходимы:

детальные сведения о полях составляющих скорости ветра и коэффициента турбулентности. В связи с этим в обзоре основное внимание уделено физически обоснованным и экономичным в вычислительном отношении моделям АПС. Этим основным требованиям отвечает базисная модель, основанная на учете основных физических факторов формирования АПС посредством использования стандартной аэрометеорологической информации.

Базисная модель предназначена для расчетов вертикальных профилей метеорологических величин и характеристик турбулентности в нижнем, 1,5-км. слое. Модель - двухслойная, искомые характеристики в приземном подслое рассчитываются с помощью характерных масштабов и универсальных функций теории подобия. В свободном пограничном слое решается замкнутая система уравнений, состоящая из уравнений движения, баланса кинетической энергии турбулентных вихрей, скорости диссипации турбулентной энергии в тепловую, соотношения Колмогорова

$$\frac{d}{dz} K \frac{dU}{dz} + fV = fV_g(z),$$

$$\frac{d}{dz} K \frac{dV}{dz} - fU = -fU_g(z),$$

$$Kl \left( \frac{dU}{dz} \right)^2 + \frac{g}{\theta} \frac{Q(z)}{c \rho} + \alpha_0 \frac{d}{dz} K \frac{dB}{dz} - E = 0,$$

$$Kl \left( \frac{dU}{dz} \right)^2 + \frac{g}{\theta} \frac{Q(z)}{c \rho} + \alpha_2 \frac{B}{E} \frac{d}{dz} K \frac{dE}{dz} - \alpha_0 E = 0,$$

$$K = \alpha_0 B^2 / E,$$

с граничными условиями:

$$\text{при } z = z_0 \quad U = V = 0; \quad B = B_0; \quad E = E_0;$$

$$\text{при } z \rightarrow \infty \quad U \rightarrow U_g; \quad V \rightarrow V_g; \quad B \rightarrow 0; \quad E \rightarrow 0.$$

Выписанные уравнения положены в основу выбранной стационарной одномерной модели АПС, внутренняя структура которого определяется динамическим, термическим взаимодействием движущегося потока  $\Gamma$  подстилающей поверхности, а также структурой крупномасштабного потока, к характеристикам которого относятся стратификация воздушной массы, скорость невозмущенного потока, принимающаяся в рамках стационарной и одномерной модели равной скорости геострофического ветра, изменяющегося с высотой в соответствии с теорией термического ветра.

Внешними динамическими параметрами, определяющими структуру АПС, являются составляющие вектора приземного геострофического ветра, параметры бароклинности. К термическим факторам относятся характеристики стратификации в приземном подслое и вблизи верхней границы АПС. Естественно учитываются параметры шероховатости и Кориолиса. Тот факт, что все перечисленные параметры могут быть определены по стандартной аэрометеорологической информации и мобильность программной реализации модели делают ее эффективным аппаратом для использования на этапе адаптации к исходной информации и свидетельствуют об адекватном восстановлении циркуляционных и турбулентных характеристик АПС.

Таким образом, в первой главе обоснован выбор базисной модели в целях создания комплексного метода восстановления полей ветра и коэффициента турбулентности и расчета с его помощью характеристик переноса радиоактивного облака в период аварии на ЧАЭС.

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ дано описание метода восстановления трехмерной пространственно - временной структуры циркуляционного режима и турбулентного обмена для ограниченной

территорией. Разработка метода иллюстрируется расчетами на основе чернобыльских данных.

Разработка комплексного метода осуществляется в несколько этапов:

- оценка полноты и качества исходной информации;
- выявление основных физических факторов, формирующих структуру АПС над ограниченной территорией;
- модификация блока параметризации эффектов АПС;
- гидродинамическая интерполяция;
- объективный анализ полной информации;

Наиболее доступной аэрометеорологической информацией являются данные объективного анализа полей метеорологических величин на основных изобарических поверхностях. Однако, при решении данного класса задач использование только этой информации недостаточно, поскольку сведения о самом АПС отсутствуют. Для более успешного решения задач о пограничном слое необходимо привлечение исходной информации с более высокой дискретностью по вертикали (аэрологическая информация) и по горизонтали (данные наблюдений на метеорологических станциях). Естественно, желателен выбор максимально доступной аэрометеорологической информации с данной территории.

Для иллюстрации разработанного метода были выбраны данные температурно-ветрового зондирования в 12 пунктах, расположенных на исследуемой территории (Каунас, Смоленск, Москва, Брест, Минск, Гомель, Курск, Львов, Черновцы, Шепетовка, Киев, Харьков) и наблюдений на 156 метеорологических станциях в период максимальных выбросов в атмосферу радионуклидов в результате аварии на ЧАЭС с 26.04.86 по 9.05.86 на территории, подверженной ее наибольшему влиянию.

Анализ крупномасштабных процессов позволяет определить основные физические факторы, формирующие внутреннюю структуру АПС над выбранной территорией. Так, во время аварии на ЧАЭС, пограничный слой формировался при малоградиентном барическом поле в начале периода и северной периферии циклона — в конце. Это определило особенности циркуляции и турбулентного обмена. Выбор исходных данных для иллюстрации метода не случаен, авария на ЧАЭС произошла в неблагоприятных для рассеяния примесей метеорологических условиях — малоградиентное барическое поле. Методы восстановления циркуляционной структуры и турбулентного обмена в таких условиях характеризуются большими погрешностями.

Как показал опыт работы с моделью АПС, в различных задачах при использовании в качестве исходной информации эмпирических данных, возникает задача "настройки" модели к этим данным с целью получения наиболее достоверной выходной информации.

Предлагаемый алгоритм адаптации модели основан на ее модификации применительно к исходной информации, и включает модификацию блоков определения шероховатости, критических и опорных уровней, задания геострофического ветра, параметров бароклинности и стратификации.

Процедура расчета параметра шероховатости заключается в получении аналитических выражений для функции

$$Z_0 = f(|V_g|; |V_0|),$$

Скорости приземного геострофического и реального ветра для пункта, в котором рассчитывается  $Z_0$ , находятся путем сплайн-интерполяции значений  $V_g$  и  $V_0$  на окружающих станциях.

Для исследуемой территории значения параметра шерохова-

тости были определены в пунктах радиозондирования.

Процедура определения геострофического ветра включает оценку критических и опорных уровней.

Под критическими уровнями понимается характерный диапазон значений верхней границы АПС и репрезентативных высот в свободной атмосфере, непосредственно влияющих на структуру АПС. Результаты численных экспериментов, выполненных с моделью АПС, показали, что высота пограничного слоя определяется стратификацией в слое между высотой АТ-850 Гпа и уровнем метеобудки и модулем скорости ветра на АТ-850 Гпа. В зависимости от двух указанных параметров определяются критические уровни  $R_0, R_1, R_2$  для ветра отвечающих условиям  $R_0 < H < R_1$ ,  $R_1 < H < R_2$ , где  $H$  — высота АПС,  $H_0$  — высота уровня в свободной атмосфере. Опорные уровни — высоты с которых берутся значения ветра и температуры для расчета параметров модели. Процедура выбора опорных уровней заключается в проверке по определенному алгоритму факта попадания в тот или иной интервал критических уровней высот особых точек из реального профиля.

Для восстановления профиля ветра важно верно задать или рассчитать модуль и направление геострофического ветра на верхней границе АПС и вблизи подстилающей поверхности. В качестве геострофического ветра на верхней границе АПС принимается значение фактического ветра на опорном уровне, выбранном из реального профиля ветра.

Приземный геострофический ветер определяется либо путем экстраполяции по значениям ветра на опорных уровнях на анемометрический уровень, либо задается на основе анализа реального профиля ветра внутри АПС. Многочисленные расчеты показали, что вариант с экстраполяцией геострофического ветра дает неу-

довлетворительные результаты при наличии в свободном пограничном слое струйного течения нижнего уровня. В этом случае за модуль приземного геострофического ветра принимается максимум скорости ветра в свободном АПС. Направление рассчитывается исходя из направления ветра на уровне флюгера и среднего значения угла отклонения реального ветра от геострофического.

Важным этапом настройки модели является решение вопроса об учете бароклинности, которая, как показали модельные расчеты, большое влияние оказывает на направление ветра в АПС.

При экстраполяции геострофического ветра на анемометрический уровень автоматически определяются составляющие вектора вертикального градиента по разности векторов ветра на двух опорных уровнях. В случае задания приземного геострофического ветра дополнительно используется процедура последовательных приближений.

Исходя из принципа максимального усвоения данных измерений, нами была также разработана методика построения обобщенных вертикальных профилей ветра и температуры, включающих результаты модельных расчетов и радиозондовых наблюдений. Достоинством этих профилей является высокая дискретность, достаточная достоверность и согласованность с вертикальными профилями характеристик турбулентности. Последнее обстоятельство особенно важно при их использовании для решения задачи о рассеянии загрязнений.

Для получения детальных горизонтальных полей в комплексном методе предлагается использовать метод гидродинамической интерполяции. Известно, что пункты радиозондирования расположены на достаточно большом расстоянии друг от

друга. Имея в распоряжении вертикальные профили метеорологических величин и характеристик: турбулентности лишь в этих пунктах, можно получить информацию в узлах сетки с большим шагом. Метеорологические станции расположены значительно чаще. Если в модельных расчетах в качестве исходной информации использовать данные радиозондирования и значения измерений на метеорологических станциях, то можно получить выходную информацию с дискретностью, соответствующей густоте расположения метеорологических станций. Объединение данных радиозондирования и метеостанций осуществляется в пределах радиуса влияния, который выбирается из условия высокой коррелированности составляющих скорости ветра. Кроме того, учитывалось направление ведущего потока.

Возможность восстановления циркуляционно-турбулентной структуры АПС над ограниченной территорией была продемонстрирована на примере чернобыльских данных.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ анализируются результаты применения комплексного метода к восстановлению трехмерной структуры АПС над территорией, подверженной максимальному влиянию радиоактивных примесей в результате аварии на ЧАЭС. Дается количественная оценка разработанной методики и рассматриваются пространственно-временные характеристики циркуляционного режима и турбулентного обмена АПС.

С целью оценки качества методики были вычислены средние квадратические ошибки восстановления вертикальных профилей ветра и температуры. Величины ошибки для них соответственно составили 1,9 м/с и 0,2 С, что, как видно, не превышает ошибки объективного анализа метеорологических полей на основных изобарических поверхностях.

Значения скоростей ветра, температуры и коэффициента турбулентности, полученные с высокой дискретностью в горизонтальной и вертикальной плоскостях в пределах АПС, детально описывают его структуру и отражают особенности мезо-масштабной циркуляции. Применение комплексного метода дает возможность такой детализации.

Объективный анализ поля ветра на АТ-850 Гпа показал, что рассматриваемой территории на высоте 1,5 - км соответствовала юго-западная периферия области высокого давления с переносом воздушных масс на этом уровне на северо-запад со скоростью 5-10 м/с.

26.04.86 в приземном слое и до высоты 250 м, над центральной частью рассматриваемой территории, направление переноса осуществлялось с востока на запад ( $dd = 70-90$  град); выше, в слое до 1000 м, ветер, поворачивал вправо и его направление достигало значений  $dd = 110-130$  град., это соответствовало переносу на северо - запад на АТ-850 Гпа. Т.о. основной источник выброса радионуклидов находился в секторе переноса от 70 до 130 град. При этом здесь наблюдались профили типа мезоструи, на высотах порядка 400 м значения модуля скорости ветра составили 8-12 м/с, что значительно превышает скорость, которую можно было бы предположить на основе объективного анализа. На остальной части территории сектор переноса составил 90 - 110 град., т.е. перенос осуществлялся с востока на запад. К высоте 1000 м поток приобрел направление на северо-запад, и согласован с данными объективного анализа. Указанная циркуляция наблюдалась в течение суток.

27 апреля в северных и северо-западных районах рассмот-

ренной территории в слое от поверхности земли до 500 м направление ветра —  $dd = 70 - 90$  град., в центральных и юго-восточных —  $dd = 190-200$  град. К высоте 1000 м над рассматриваемой территорией установился перенос с юго-востока на северо-запад, что также соответствует результатам объективного анализа за этот срок. Значения модуля скорости ветра на всей территории выросло от 5-8 м/с в приземном слое до 10-15 м/с на уровне 1000 м. Указанная циркуляция наблюдалась в течение суток.

В третьей главе выполнены расчеты и проведен анализ циркуляционной структуры за период с 26.04.86 по 9.05.86. Показано существенное уточнение направления переноса за счет восстановленных вертикальных профилей ветра.

Наряду с характеристиками циркуляционного режима комплексный метод позволяет получить интегральные турбулентные характеристики АПС и согласованные с вертикальными профилями ветра профили коэффициента турбулентности. В третьей главе рассматривается пространственно — временное распределение максимальных значений коэффициента турбулентности (ТК), высоты пограничного слоя атмосферы (Н), динамической скорости ( $V^*$ ), турбулентного потока тепла (Q). Здесь остановимся на характеристиках, имеющих значение при решении задач о диффузии примесей: максимальных значениях коэффициента турбулентности и высоте пограничного слоя.

Рассматриваемый промежуток времени по характеру турбулентного обмена в АПС условно можно разделить на три периода, отличающихся значениями ТК.

С момента аварии по 30.04.86 в центре рассматриваемой области отмечался слабый турбулентный обмен: значения ТК в

диапазоне от 6 до 9 м<sup>2</sup>/с наблюдались в дневные сроки в АПС высотой 300-600 м. Над остальной территорией турбулентный обмен распространялся в слое 600-800 м со значениями ТК от 25 до 42 м<sup>2</sup>/с. В ночные сроки значения ТК не превышали 3 м<sup>2</sup>/с.

В период с 1.05.86 по 5.05.86 турбулентный обмен в АПС был наиболее развит. В центре и на севере рассматриваемой территории в дневные сроки диапазоны изменения ТК были соответственно: 120 - 230 м<sup>2</sup>/с и 90 - 130 м<sup>2</sup>/с. При этом интенсивный турбулентный обмен в центральной части распространялся в слое до 500 м, в северной - в слое 600 - 1100 м. На остальной территории интенсивность турбулентного обмена в АПС, высотой 400 - 600 м, характеризовалась максимальными значениями коэффициента турбулентности от 36 до 70 м<sup>2</sup>/с. В ночные сроки ТК не превышали 4 - 7 м<sup>2</sup>/с. Наиболее турбулентный обмен был развит в дневные сроки 2 и 3 мая: в слое до 500 м значения ТК составили соответственно 230 и 130 м<sup>2</sup>/с.

В период с 6 по 9 мая на всей территории ТК изменялись от 12 до 26 м<sup>2</sup>/с в слое 460 - 580 м. В ночные сроки, ТК - около 5 м<sup>2</sup>/с.

Рассмотренные значения коэффициентов турбулентности согласуется с данными об интенсивности турбулентного перемешивания, приведенными в литературных источниках.

#### ВЫВОДЫ.

1. Разработан комплексный метод восстановления трехмерной структуры АПС, основанный на совместном использовании данных наблюдений и результатов физико-математического моделирования. Последовательно реализован принцип максималь-

ного усвоения аэрометеорологической информации.

2. Выполнена модификация модели стратифицированного бароклинного АПС применительно к задаче расчета характеристик циркуляционного режима и турбулентного обмена в АПС для ограниченной территории, позволяющая существенно уточнить выходную информацию модели и получить взаимно согласованные поля распределения скорости ветра и коэффициента турбулентности.

3. Методика дополненных вертикалей является разновидностью метода гидродинамической интерполяции. В ней совместно использованы данные пункта радиозондирования и метеостанций, расположенных на окружающей территории в пределах радиуса влияния, что позволяет увеличить плотность исходной информации в трехмерной области и существенно повышает достоверность результатов объективного анализа в узлах регулярной сетки.

4. Расчетный метод применен к восстановлению циркуляционно-турбулентных характеристик АПС над территорией, подверженной влиянию радионуклидов в период их максимальных выбросов.

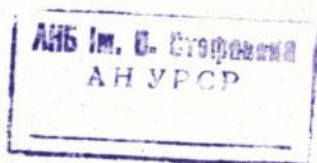
5. Расчитаны пространственно-временные характеристики циркуляционно-турбулентной структуры АПС по чернобыльским данным. Полученные вертикальные профили ветра существенно дополняют сведения объективного анализа и детализируют трехмерную структуру нижней атмосферы.

6. При использовании разработанного комплексного метода для получения исходной в решении уравнения турбулентной диффузии информации, получаем замкнутую задачу совместного определения вектора ветра, температуры, характеристик турбулентности и концентрации примесей.

Основное содержание работы отражено в следующих публикациях:

1. Боровская Г.А., Лазырина О.М., Шнайрман В.А. Пространственное распределение характеристик ПСА по территории Украины при типовых синоптических ситуациях. - Одеск. гидромет. ин.-т. - Одесса. - Деп. в УкРИНТЭИ, № 1326 -УК 92.

3. Лазырина О.М., Боровская Г.А. Комплексный метод восстановления турбулентно-циркуляционной структуры АПС (по чернобыльским данным). - Одеск. гидромет. ин.-т. - Одесса. - Деп. в УкРИНТЭИ, № 1332 -УК 92.





УДК 62-50  
ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКИ И ТЕХНИКИ

№ 001  
1972

АВТОРЕФЕРАТ

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА СОЗДАНИЯ ЗАЩИЩЕННЫХ СИСТЕМ  
СЧЕТА ГАЗОВ ОТ ВЗРЫВНЫХ СОЕДИНЕНИЙ

Специальность 13.00.11 - Оценка надежности систем  
и рациональное использование природных ресурсов

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

467280

AB 25.850

**AB 25.850**

Издательство МГУ, Москва, 1978  
Оформлено в соответствии с ГОСТ 7097-76  
Тираж 1000 экз.