

На правах рукописи

Безуглова Надежда Николаевна

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНО - НЕОДНОРОДНОЙ
ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУКТУРУ
ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Специальности:

01.04.01–приборы и методы экспериментальной физики
05.13.18-математическое моделирование, численные методы
и комплексы программ

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук

Барнаул 2002

Работа выполнена в Институте водных и экологических проблем
СО РАН

Научный руководитель: д.ф.-м.н., профессор Суторихин И.А.

Официальные оппоненты:

д.т.н., профессор Сеначин П.К.

д.т.н., профессор Оскорбин Н.М.

Ведущая организация

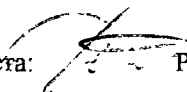
Томский государственный университет

Защита диссертации состоится 17 мая 2002 г. в 13 часов на заседании диссертационного совета Д 212.005.03 Алтайского государственного университета по адресу: 656099, Барнаул-99, пр. Ленина, 61.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Алтайского государственного университета.

Автореферат разослан «12» апреля 2002г.

Ученый секретарь диссертационного совета:



Рудер Д. Д

Общая характеристика работы

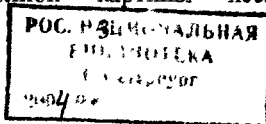
Актуальность проблемы

Необходимость решать различные научные и практические задачи, связанные с проблемами влияния промышленно-хозяйственных объектов на мезоклимат окружающих территорий, с моделированием атмосферных процессов, с исследованиями в области локального прогноза погоды и общей циркуляции атмосферы, с состоянием загрязнения окружающей среды требует уточнения современных теоретических представлений о структуре горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы, а также выдвигает новые требования к точности и детализации экспериментального описания структуры пограничного слоя атмосферы в условиях изменяющихся свойств подстилающей поверхности.

Неоднородности естественного и антропогенного происхождения — такие как осушаемые, орошаемые участки земли, водоемы суши, закрытые «хвостохранилища» обогатительных предприятий, территории, являющиеся открытыми источниками сырья для промышленных предприятий (например, оз. Селитренное Благовещенского района Алтайского края, являющееся источником мелкодисперсного сульфата натрия для предприятия Кучуксульфат) — меняют свойства подстилающей поверхности, а следовательно и структуру пограничного слоя атмосферы. В последнее время в научной литературе широко обсуждается вопрос о необходимости решения задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы.

Несмотря на определенные успехи математического и физического моделирования пограничного слоя атмосферы, его единой универсальной модели пока нет, а наиболее совершенные из них настолько сложны и требуют такого количества машинного времени, что их применение практически становится нереальным. Поэтому разработано большое число частных моделей, каждая из которых удовлетворительно воспроизводит те или иные свойства пограничного слоя атмосферы.

Существующие методы измерения структурных характеристик флуктуаций некоторых величин (градиентный, микропульсационный, акустические, оптические), а также средства оперативного измерения (самолеты-метеолaborатории, привязные аэростаты, системы дистанционного зондирования атмосферы, доплеровские радиолокаторы, высотные метеорологические мачты, передвижные лаборатории) используются для решения многих задач пограничного слоя атмосферы. Но по различным причинам, имеют ограничения в применении. Как правило, число точек наблюдения как в направлении среднего ветра, так и в вертикальном направлении невелико. Это затрудняет описание полной картины исследуемых процессов



горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы. В условиях отсутствия единой модели горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы, ограниченного применения методов и средств экспериментальных измерений, проблем экономического характера и т.п. необходимо совместное использование численных и экспериментальных методов для подготовки и проведения натуральных измерений характеристик пограничного слоя атмосферы.

Цель работы – исследование влияния горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности (изменения температуры, влажности, шероховатости) на вертикальные профили метеоэлементов и параметров пограничного слоя атмосферы для планирования постановки натурального эксперимента.

Задачи исследования:

- разработка методики планирования постановки натурального эксперимента;

- создание комплекса программ для расчета вертикальных профилей метеоэлементов, концентрации примеси и параметров пограничного слоя атмосферы в целях планирования и проведения экспериментальных измерений в условиях изменяющихся свойств подстилающей поверхности;

- проведение модельных расчетов вертикальных профилей метеоэлементов, концентрации примеси и параметров пограничного слоя атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности подстилающей поверхности в конкретной ситуации оз. Селитренное Благовещенского района Алтайского края,

- определение репрезентативных уровней экспериментальных измерений.

Научная новизна

- для планирования экспериментов по измерению вертикальных профилей метеоэлементов в пограничном слое атмосферы создан комплекс программ, учитывающих изменения свойств подстилающей поверхности и позволяющих рассчитать вертикальные профили метовеличин;

- разработана методика выбора репрезентативных уровней для измерения метовеличин пограничного слоя атмосферы на основе модельных расчетов влияния горизонтальной неоднородности-влажности, температуры и шероховатости подстилающей поверхности на вертикальные профили метовеличин в условиях оз. Селитренное (Благовещенский р-н Алтайского края);

Научная и практическая значимость

- результаты научных исследований направлены на решение актуальной

экспериментальной задачи восстановления структуры пограничного слоя атмосферы в условиях изменяющихся свойств подстилающей поверхности;

- созданный программный комплекс обеспечивает устойчивое решение задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы;

- полученный комплекс программ может быть использован в условиях любого конкретного объекта;

- результаты работы могут быть использованы для установления особенностей мезоклимата территорий, для которых проводится расчет, а также для прогнозирования влияния антропогенных и природных объектов, изменяющих свойства подстилающей поверхности, на мезоклимат и состояние загрязнения окружающих территорий;

Достоверность научных результатов и аргументированность выводов работы обусловлены использованием современных достижений в области алгоритмов расчетов турбулентных течений жидкостей и газов вблизи твердой поверхности, комплекса полевых экспериментов, а также экспериментальными данными других авторов. Полученные результаты расчетов доложены на российских и международных конференциях и опубликованы в рецензируемой печати.

Работа выполнялась в рамках интеграционного проекта СО РАН N64 «Аэрозоли Сибири».

Автор выносит на защиту:

1 Методику планирования и постановки экспериментов по измерению вертикальных профилей метеовеличин и параметров пограничного слоя атмосферы в условиях реальных объектов.

2. Методику расчета вертикальных профилей метеовеличин и распределения примесей в пограничном слое атмосферы на основе комплекса программ, учитывающих изменения свойств подстилающей поверхности;

3. Результаты расчетов профилей метеовеличин и параметров пограничного слоя атмосферы при изменении температуры, влажности, шероховатости подстилающей поверхности на примере оз. Селитренное Благовещенского района Алтайского края.

Публикации и апробация работы

По теме диссертации опубликовано 11 работ, включая 2 статьи.

Основные результаты исследований докладывались на следующих конференциях:

Международная конференция «Физика атмосферного аэрозоля» Москва. 12-17апреля, 1999г; Международная конференция «Аэрозоли

Сибири», Томск, 1999г.; Международная конференция «Контроль и реабилитация окружающей среды», Томск, 2000г.; Международная конференция «Аэрозоли Сибири», Томск, 2000г.; VIII объединенный симпозиум «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы», Иркутск, 25-29 июня 2001г.

Структура диссертации

Работа состоит из введения, трех глав, двух приложений и списка литературы из 85 наименований. Полный объем диссертации - 84 страницы основного текста, 41 рисунок, тексты 4 программ.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной темы, сформулированы цель и основные задачи исследования, дана общая характеристика работы и приведены защищаемые положения диссертационной работы.

В первой главе рассмотрена проблемная область исследования. Для анализа имеющихся многочисленных прикладных гидродинамических моделей пограничного слоя атмосферы проведена классификация моделей:

по цели построения моделей.

по содержанию прикладных задач, для которых создавалась та или иная модель;

по способу замыкания системы уравнений пограничного слоя атмосферы;

по учету пространственно-временных процессов пограничного слоя атмосферы;

по методам параметризации внешних условий.

Подробно рассмотрена 3-х мерная модель Дирдорфа, рассмотрены частные прикладные гидродинамические модели пограничного слоя атмосферы.

Проанализированы способы замыкания моделей горизонтально-однородного пограничного слоя атмосферы, отмечены преимущества использования замкнутой системы гидродинамических уравнений для решения задач пограничного слоя атмосферы перед использованием теории приземного подслоя и априорного задания вертикального профиля коэффициента турбулентности.

Рассмотрены модели горизонтально-неоднородного пограничного слоя для различных типов неоднородностей. Подробно проанализирована модель Вагера-Надежиной для решения задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы.

Анализ показал, что для решения задач пограничного слоя

атмосферы выбранная модель должна учитывать основные физические факторы, определяющие структуру метеорологических полей на рассматриваемых пространственных и временных масштабах: в частности, для решения задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы необходим учет процессов тепло- и влагообмена, а также влияние распределения тепла и влаги в атмосфере на кинетическую энергию турбулентности.

Представлен метод Вагера-Надежиной для решения широкого круга задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы.

Во второй главе определяется круг задач, которые предстоит решать. Изучение структуры горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы включает в себя рассмотрение широкого круга проблем. Сюда относятся, в частности, задачи изучения бризовой циркуляции, водоемов суши, высохших «хвостохранилищ» обогатительных предприятий, территорий, подобных оз. Селитренному (Благовещенский район Алтайского края), являющемуся открытым источником сырья для предприятия Кучуксульфат и др.

В настоящей работе исследовано влияние изменения свойств подстилающей поверхности на структуру пограничного слоя атмосферы на примере оз. Селитренное Благовещенского района Алтайского края

Рассматриваются существующие методы и средства оперативного измерения характеристик пограничного слоя атмосферы.

Дается подробная климатическая характеристика района, в котором находится моделируемый объект.

Рассматриваются исходные уравнения гидродинамики, описывающие процессы в пограничном слое атмосферы; производится обоснование допущений, которые вводятся при решении задачи:

- 1) рассматриваются стационарные процессы;
- 2) поля метеорологических характеристик однородны по оси y ;
- 3) горизонтальная диффузия пренебрежимо мала.

Рассматривается способ замыкания полученной системы гидродинамических нелинейных уравнений.

Рассматриваются граничные условия на верхнем и нижнем уровнях пограничного слоя атмосферы.

Окончательно задача формулируется в безразмерных переменных.

$$u_n \frac{\partial u_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial u_n}{\partial z_n} = \frac{\partial}{\partial z_n} k_n \frac{\partial u_n}{\partial z_n} + m v_n. \quad (1.1)$$

$$v_n \frac{\partial v_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial v_n}{\partial z_n} = \frac{\partial}{\partial z_n} k_n \frac{\partial v_n}{\partial z_n} + m(u_n - 1) \quad (1.2)$$

$$\frac{\partial u_n}{\partial x_n} + \frac{\partial w_n}{\partial z_n} = 0, \quad (1.3)$$

$$u_n \frac{\partial \theta_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial \theta_n}{\partial z_n} = \frac{\partial}{\partial z_n} \alpha_\theta k_n \frac{\partial \theta_n}{\partial z_n}, \quad (1.4)$$

$$u_n \frac{\partial q_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial q_n}{\partial z_n} = \frac{\partial}{\partial z_n} \alpha_q k_n \frac{\partial q_n}{\partial z_n}, \quad (1.5)$$

$$u_n \frac{\partial b_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial b_n}{\partial z_n} = k_n \left[\left(\frac{\partial u_n}{\partial z_n} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_n}{\partial z_n} \right)^2 - \beta \frac{\partial \theta_n}{\partial z_n} - \beta_1 \frac{\partial q_n}{\partial z_n} - \frac{c b_n^2}{k_n} + \frac{\partial}{\partial z} \alpha_b k_n \frac{\partial b_n}{\partial z_n} \right] \quad (1.6)$$

$$u_n \frac{\partial e_n}{\partial x_n} + w_n \frac{\partial e_n}{\partial z_n} = \frac{\partial}{\partial z_n} \alpha_e k_n \frac{\partial e_n}{\partial z_n}, \quad (1.7)$$

$$k_n = \alpha_k l_n \sqrt{b_n}, \quad (1.8)$$

$$l_n = \frac{\kappa z_n}{1 - A z_n} \quad (1.9)$$

с граничными условиями

$$u_n = u_{n0}, \quad v_n = v_{n0}, \quad w_n = 0, \quad \theta_n = \theta_{n0},$$

$$q_n = q_{n0}, \quad k_n \frac{\partial b_n}{\partial z_n} - \alpha_0 v_{n*}, \quad e_n = e_{n0} \quad \text{при } z_n = z_{n0} \quad (1.10)$$

$$u_n = u_{nH}, \quad v_n = v_{nH}, \quad \theta_n = \theta_{nH},$$

$$q_n = q_{nH}, \quad k_n \frac{\partial b_n}{\partial z_n} = 0, \quad e_n = e_{n0}$$

$$\text{при } z_n = z_{nH} [1,30], \quad (1.11)$$

где u, v, w - компоненты скорости ветра вдоль координатных осей x, y, z ; q - удельная влажность; θ - потенциальная температура, c - концентрация примеси, H - верхняя граница пограничного слоя атмосферы, G - скорость геострофического ветра, f - параметр Кориолиса; κ - постоянная Кармана, A - коэффициент; z - координата. β, β_1 -

параметр плавучести, ε - скорость диссипации турбулентной энергии в тепло, k - коэффициент турбулентного обмена, m , $\tilde{\beta}$, $\tilde{\beta}_1$ - безразмерные параметры, α_θ , α_q , α_b , α_e , α_k , α_0 - коэффициенты, c , κ - константы.

Выбор характерных масштабов при переходе к безразмерным переменным может быть осуществлен различными способами. Мы рассмотрим один из возможных вариантов безразмерных переменных, определенных по следующим формулам

$$z_n = \frac{z}{H}, \quad x_n = \frac{x}{H}, \quad u_n = \frac{u}{G},$$

$$v_n = \frac{v}{G}, \quad w_n = \frac{w}{G}, \quad q_n = \frac{q}{q_H}, \quad \theta_n = \frac{\theta}{\theta_H}, \quad (1.12)$$

$$b_n = \frac{b}{G^2}, \quad k_n = \frac{k}{Gh}, \quad l_n = \frac{l}{H}.$$

Введем безразмерные параметры

$$m = \frac{fH}{G}, \quad \tilde{\beta} = \frac{\alpha_\theta \beta H (\theta_H - \theta_0)}{G^2}, \quad \tilde{\beta}_1 = \frac{\alpha_q \beta_1 q_H H}{G^2}.$$

Выбранная система уравнений горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы представляет собой систему нелинейных уравнений в частных производных параболического типа. Решается система численно с помощью метода конечных разностей. Как правило, одной и той же задаче может соответствовать несколько дискретных моделей, но не все пригодны для реализации. К разностным схемам обычно предъявляются различные требования. Одно из них состоит в том, что сеточная модель должна правильно передавать физические особенности изучаемых процессов и отражать основные свойства непрерывной среды. В нашем случае исходная система уравнений - это математическое выражение основных законов гидротермодинамики. Кроме того, разностная схема должна обеспечивать устойчивость решения.

При решении задач о структуре горизонтально - неоднородного пограничного слоя атмосферы основной целью исследования является выявление эффекта влияния изменения свойств подстилающей поверхности на движущуюся воздушную массу. Это влияние нужно отделить от собственной деформации профилей метеорологических элементов, характеризующих набегающий поток. Подобная деформация наблюдается, если условия, заданные при $x=0$, не вполне соответствуют установившемуся течению. Поэтому, прежде чем начать решение горизонтально - неоднородной задачи, необходимо провести

исследование, позволяющее установить, действительно ли режим набегающего потока соответствует условиям стационарного горизонтально – однородного пограничного слоя. Характеристики установившегося режима должны удовлетворять исходной системе уравнений при отсутствии в них адвективных членов. Кроме того, эти характеристики должны правильно описывать реальную структуру горизонтально-однородного пограничного слоя атмосферы, которая известна из эксперимента и физических соображений.

Для уточнения граничных условий при $x=0$ в нашей задаче находилось решение исходной системы уравнений в горизонтально – однородном приближении. Для этого задавались исходные профили u , v , w , b , θ , k , q и решались уравнения при неизменных условиях на уровне шероховатости для всех перечисленных характеристик до тех пор, пока не исчезало влияние исходных профилей искомых функций и не устанавливался горизонтально – однородный режим течений. Полученные вертикальные профили характеристик установившегося потока использовались в качестве граничного условия при $x=0$.

Для тестирования используемой в работе модели проведено сравнение вертикальных профилей метеозлементов и параметров пограничного слоя атмосферы в условиях горизонтальной однородности (свойства подстилающей поверхности неизменны), рассчитанных по используемой в работе модели и по планетарной модели пограничного слоя по данным Первого глобального эксперимента ПИГАП.

На рисунках 1 и 2 представлены установившиеся профили энергии турбулентности и температуры (линии 2), рассчитанные по используемой в работе модели в условиях горизонтальной однородности.

Полученные установившиеся вертикальные профили метеозлементов и параметров пограничного слоя атмосферы для условий однородной подстилающей поверхности хорошо согласуются с профилями, рассчитанными по модели планетарного пограничного слоя по данным Первого глобального эксперимента ПИГАП (линии 1).

Одна из целей работы – изучение возможности использования модели для расчета структуры пограничного слоя атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности. В условиях оз. Селитренного характерный горизонтальный масштаб неоднородностей подстилающей поверхности составляет $\sim 10-100$ км. Изменение свойств подстилающей поверхности задавалось кусочно-линейными функциями.

Для исследования поведения вертикальных профилей метеозлементов и параметров пограничного слоя атмосферы при изменении свойств подстилающей поверхности (степени увлажнения, параметра шероховатости, температуры), создан пакет программ для

расчета структуры пограничного слоя атмосферы: GRUNA – для расчета установившихся профилей, GRUNQ – для расчета вертикальных профилей при изменении влажности подстилающей поверхности, GRUNZ – для расчета вертикальных профилей при изменении параметра шероховатости подстилающей поверхности, GRUNT – для расчета вертикальных профилей при изменении температуры подстилающей

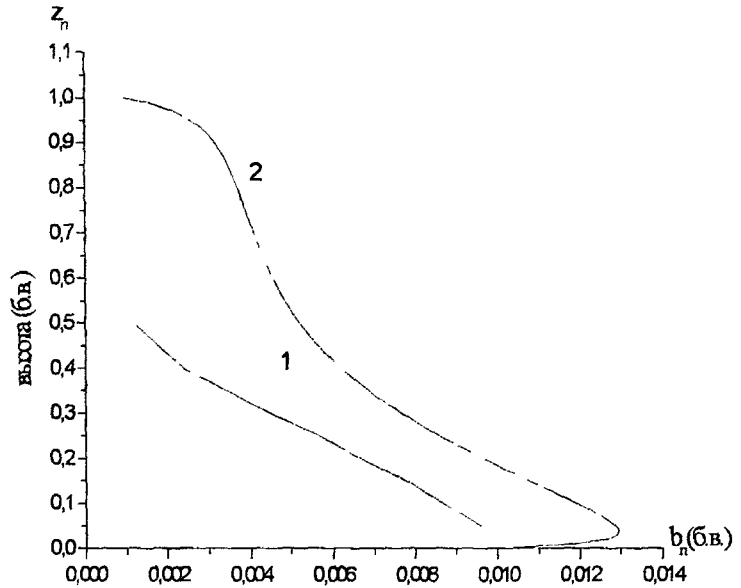


Рис. 1 Вертикальные профили энергии турбулентности (b_n) в условиях горизонтальной однородности, рассчитанные 1-го стандартной программой; 2-го разработанной программой

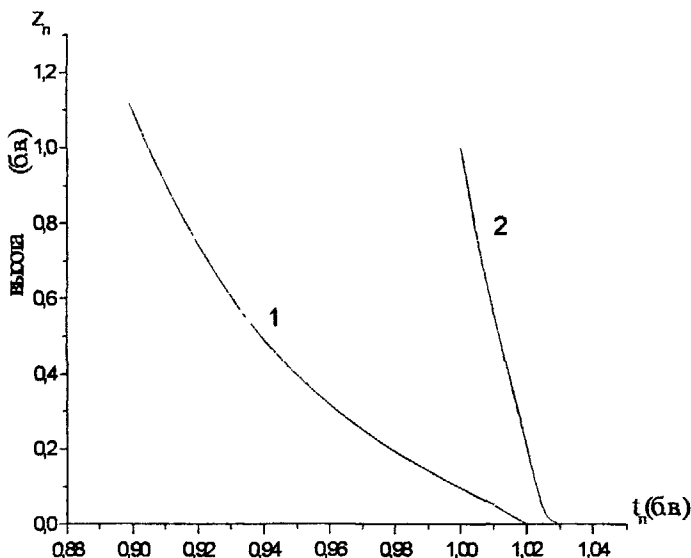


Рис. 2. Вертикальные профили температур в условиях горизонтальной однородности, рассчитанные 1-по стандартной программе, 2-по разработанной программе

поверхности). В основе программ лежит программа GRUN, состоящая из главной программы и 2-х подпрограмм: PROGON и PECAT. Основу программы составляет подпрограмма PROGON, составленная для решения эталонного уравнения параболического типа общего вида.

Главная программа управляет процессом вычисления и последовательностью вызова подпрограммы для расчета вертикальных профилей каждой из искомым функций. В главной программе даётся описание размерности всех массивов искомым функций на двух последовательных шагах по горизонтали, а также вспомогательных массивов, необходимых для выполнения последующих расчетов.

Для выполнения расчётов необходимо задать значения всех внешних параметров системы и всех постоянных коэффициентов, входящих в исходные уравнения. Затем вычисляем координаты узлов сетки. Сетка равномерна по обоим переменным, шаг по вертикали рассчитывается в зависимости от числа выбранных точек и уровня шероховатости.

В нелинейных членах уравнений значения множителей, зависящих от искомым функций, брались с предыдущего шага по горизонтальной

координате. Для решения использовался метод отдельных прогонок

Начальные профили рассчитывались предварительно по программе GRUNA и затем вводились в другие программы.

После ввода начальных профилей вводим величину шага по горизонтали, значения начальной и конечной точек по горизонтали.

Далее в зависимости от того, какое именно свойство подстилающей поверхности изменяется, вводим соответствующие граничные условия по влажности (программа GRUNQ), по параметру шероховатости (программа GRUNZ), либо по температуре (программа GRUNT).

Далее с помощью подпрограммы PROGON рассчитываются вертикальные профили каждой искомой функции, а также вертикальные потоки тепла и влаги.

После выполнения необходимого числа шагов по горизонтали вычисления заканчиваются, и вызывается подпрограмма PЕСАТ для вывода результатов на печать.

Существует точное решение для процесса динамической трансформации температуры и влажности в стационарных условиях, полученное Д.Л.Лайхтманом после принятия ряда упрощающих положений. Решение выражается через функции Бесселя разных порядков. Чтобы протестировать

используемую в работе программу, с ее помощью решали уравнение Бесселя; полученное приближенное решение для функций Бесселя нулевого (J_0) и первого (J_1) порядков сравнивали со значениями функции Бесселя, рассчитанными с помощью пакета стандартных программ IMSL. Погрешность для J_0 составляет 8%, для J_1 -4%.

В третьей главе рассматриваются результаты модельных расчетов структуры пограничного слоя атмосферы в условиях горизонтальной неоднородности. Результаты расчетов представлены в виде графиков. Объект моделирования - оз. Селитренное Благовещенского района Алтайского края. Проводится анализ результатов расчетов, сравнение с имеющимися экспериментальными данными, определение репрезентативных уровней измерения.

Вертикальные профили энергии турбулентности, температуры, скорости ветра в переходной зоне подобны экспериментальным профилям этих величин, имеющимся в работах Вагера Б.Г., Надежиной Е.Д., Тейлора П.А.

Результаты расчетов, проведенных по рассматриваемой модели, показали, что при изменении свойств подстилающей поверхности - параметра шероховатости, температуры, влажности - профили метеоэлементов меняются. Графически параметр шероховатости (z_0) - расстояние по оси z между началом отсчета и поверхностью, на которой скорость для логарифмического профиля обращается в ноль (Браунсерт

У.Х. Испарение в атмосфере. Гидрометеиздат, 1985, с.79.). Анализ результатов расчетов показывает соответствие вертикальных профилей метеозаэментов, полученных в результате расчетов, локальным

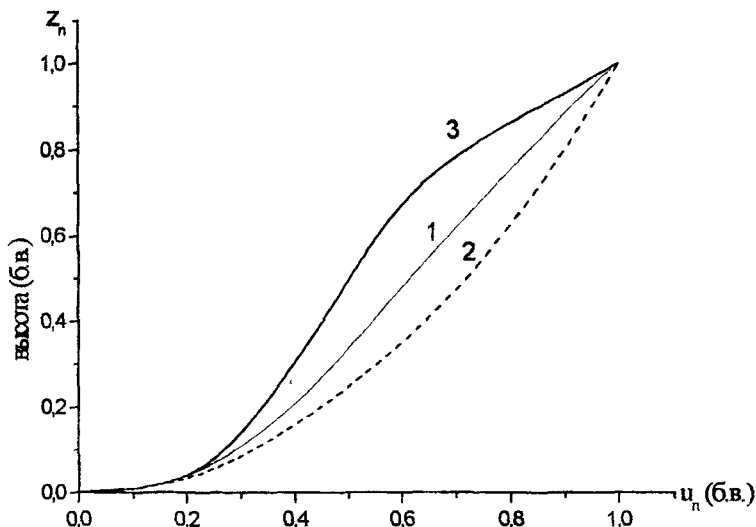


Рис.3 Вертикальный профиль скорости ветра (u_n) при изменении параметра шероховатости: 1- z_{01} ; 2- z_{02} ; 3-переходн. зона, ($z_{01} > z_{02}$)

особенностям мезоклимата рассматриваемого района.

При переходе с шероховатой поверхности на более гладкую скорость ветра возрастает (рис.3).

Вертикальный профиль энергии турбулентности (кинетической энергии турбулентных пульсаций скорости) имеет сложный характер. Основной приток энергии турбулентности при изучении процесса динамической трансформации происходит за счет изменения вертикального градиента горизонтальной скорости. Над более шероховатой поверхностью происходит уменьшение энергии турбулентности в самом нижнем слое, очевидно, сказывается торможение потока у земли, поскольку энергия турбулентности рассчитывается по уравнению сохранения энергии и зависит от изменения скорости по высоте, затем энергия турбулентности начинает расти и достигает максимума примерно на середине слоя, далее вновь убывает до нуля на верхней границе пограничного слоя атмосферы.

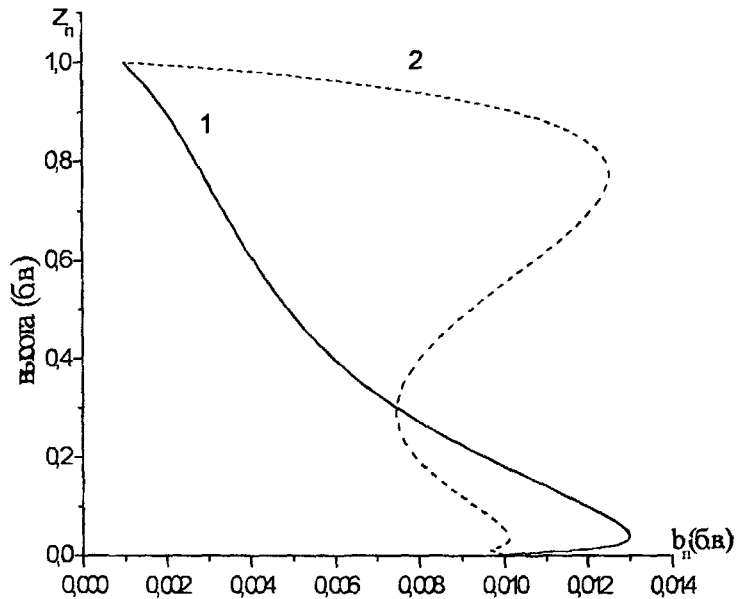


Рис.4 Вертикальный профиль энергии турбулентности (b_n) при изменении параметра шероховатости $1-z_u$, $2-z_w$; ($z_u > z_w$)

Что касается профиля энергии турбулентности над более гладкой поверхностью, то, очевидно, некоторое увеличение энергии турбулентности в нижнем слое происходит из-за явления разгона в нижней части пограничного слоя, затем энергия турбулентности плавно убывает до верхней границы слоя (рис.4).

Многочисленные наблюдения показывают, что в зоне перехода с более шероховатой поверхности на более гладкую часто возникают вихри. Расчеты, полученные при помощи разработанных программ, могут объяснить причину возникновения этих вихрей.

Порядок величины энергии турбулентности над более шероховатой и более гладкой поверхностями (параметр шероховатости которых отличается на два порядка), одинаков, тогда как величина энергии турбулентности в переходной зоне на два порядка больше. Увеличение энергии турбулентности при переходе с более шероховатой на более

гладкую поверхность соответствует усилению неустойчивости. Резкое увеличение энергии турбулентности в нижней части пограничного слоя при перемещении воздушной массы над переходной зоной может стать причиной образования вихрей (рис.5).

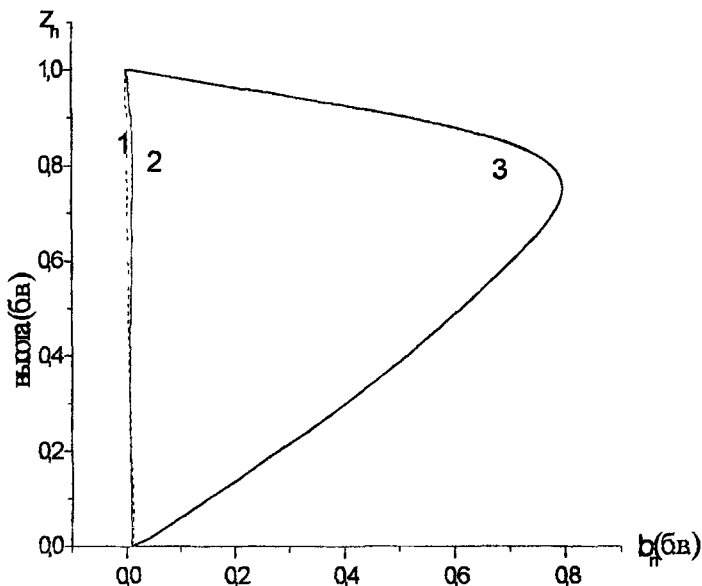


Рис.5 Вертикальный профиль энергии турбулентности (b_n) при изменении параметра шероховатости подстилающей поверхности 1- z_{01} ; 2- z_{02} ; 3-переходная зона ($z_{01} > z_{02}$)

Распределение температуры показывает, что изменение температуры воздушной массы при ее перемещении над переходной зоной подстилающей поверхности от более шероховатой к более гладкой поверхности происходит сильнее, чем над более гладкой или более шероховатой поверхностями. Распределение температуры показывает, что в случае неустойчиво стратифицированной атмосферы при общем падении температуры с высотой в середине слоя наблюдается слой локальной устойчивости, соответствующий росту температуры с высотой. Подобное распределение температуры воздуха препятствует развитию облачности и выпадению осадков (рис.6). Как показали расчеты, вертикальные профили одной и той же метеорологической величины в случае горизонтально-неоднородного пограничного слоя

атмосферы отличаются при изменении свойств подстилающей поверхности. Не существует универсальной модели для расчетов

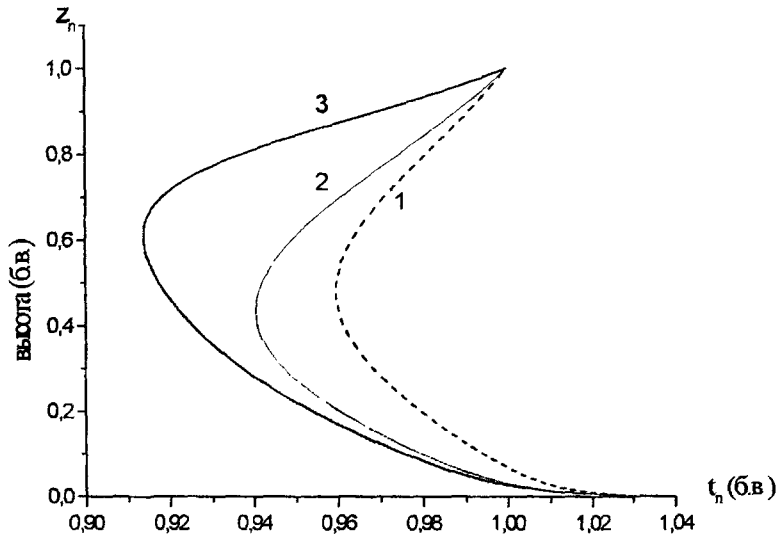


Рис.6 Вертикальный профиль температуры (t_n) воздуха при изменении влажности подстилающей поверхности: 1- q_{01} ; 2- q_{02} ; 3-переходн. зона; ($q_{01} < q_{02}$)

вертикальных профилей метеовеличин и параметров пограничного слоя атмосферы в случае различных масштабов неоднородностей. также нет универсальной методики подготовки экспериментальных измерений для исследования горизонтально- неоднородного пограничного слоя

В настоящей работе для планирования экспериментов предлагается методика выбора

репрезентативных уровней измерения на основе учета особенностей модельных профилей метеозлементов и параметров пограничного слоя атмосферы для стационарных мезомасштабных процессов, когда порядок горизонтальных масштабов неоднородностей составляет 10-100 км.

Основные результаты и выводы

Наиболее существенные научные результаты, полученные соискателем, заключаются в следующем:

- для планирования экспериментов по измерению вертикальных профилей метеозлементов в пограничном слое атмосферы создан

комплекс программ, учитывающих изменения свойств подстилающей поверхности и позволяющих рассчитать вертикальные профили метеовеличин;

- разработана методика выбора репрезентативных уровней для измерения метеовеличин пограничного слоя атмосферы на основе модельных расчетов влияния горизонтальной неоднородности – влажности, температуры и шероховатости подстилающей поверхности на вертикальные профили метеовеличин в условиях оз. Селитренное (Благовещенский р-н Алтайского края);

- выполнены модельные расчеты по прогнозированию влияния антропогенных объектов, нарушающих естественное состояние подстилающей поверхности, на структуру пограничного слоя атмосферы на примере оз. Селитренное;

- обеспечен широкий диапазон применимости программ при сохранении устойчивости расчетов, в том числе и при нарушении условия Куранта;

- осуществлен учет влияния процессов распространения тепла и влаги в атмосфере на энергию турбулентности.

Список публикаций по теме диссертации

1. Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Влияние структуры подстилающей поверхности на мезоклиматические особенности пограничного слоя атмосферы. Сборник материалов международной конференции «Физика атмосферного аэрозоля», Москва, МГУ, Изд-во «Диалог», 1999, с.52.

2. Зинченко Г.С., Постнова И.С., Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Особенности климатических характеристик Благовещенского района Алтайского края. Сборник материалов международной конференции «Аэрозоли Сибири», Ин-т оптики атмосферы, Изд-во СО РАН, Томск, 1999, с.57.

3. Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Влияние климатических особенностей на выбор математической модели для расчета структуры пограничного слоя атмосферы. Сборник материалов международной конференции «Аэрозоли Сибири», Ин-т оптики атмосферы, Изд-во СО РАН, Томск, 1999, с.29.

4. Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Способ учета влияния климатических особенностей при использовании математической модели для расчета внутренней структуры пограничного слоя атмосферы. Сборник материалов международной конференции «Аэрозоли Сибири», Ин-т оптики атмосферы, Изд-во СО РАН, Томск, 1999, с.28.

5. Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. О разностных схемах для численной модели горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы. Сборник материалов международной конференции

«Контроль и реабилитация окружающей среды» Ин-т оптического мониторинга, Изд-во СО РАН, Томск, 2000, с.47.

6.Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Устойчивость решения задач горизонтально-неоднородного пограничного слоя атмосферы. Сборник материалов международной конференции «Аэрозоли Сибири», Ин-т оптики атмосферы, Изд-во СО РАН, Томск, 2000, с.66.

7.Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Численная модель пограничного слоя атмосферы с двумерной горизонтальной неоднородностью подстилающей поверхностью. Сборник материалов VIII Объединенного симпозиума «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосфер». Изд-во СО РАН, Иркутск, 2001, с.198.

8.Безуглова Н.Н. Модели пограничного слоя. Экологический анализ региона. Сборник 2000. Изд-во СО РАН, Новосибирск, 2000, с.162-174.

9.Безуглова Н.Н., Суторихин И.А. Влияние изменения степени увлажнения и параметра подстилающей поверхности на структуру пограничного слоя. Оптика атмосферы и океана, 2001, N10, с.1031-1035.

10.Zinchenko G.S., Sutorikhin I.A., Bezuglova N.N. Long-term dynamics of the atmospheric air meteoroparameters near the large industrial centers of Altai district. VII Joint International Symposium "Atmospheric and ocean. Atmospheric physics" Tomsk, IAO SB RAS, 2001. P. 253.

11.Bezuglova N.N., Sukovatov Yu. A., Sutorikhin I.A. Numerical model of the atmospheric boundary layer with surface inhomogeneti. VII Joint International Symposium "Atmospheric and ocean. Atmospheric physics" Tomsk, IAO SB RAS, 2001. P. 258.

Безуглова Надежда Николаевна

ВЛИЯНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНО-НЕОДНОРОДНОЙ ПОДСТИЛАЮЩЕЙ
ПОВЕРХНОСТИ НА СТРУКТУРУ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ АТМОСФЕРЫ

Подписано в печать 01.04.2002. Формат 60×84 1/16.

Печать - ризография. Усл.п.л. 0,93. Тираж 80 экз. Заказ 24/2002.

Издательство Алтайского государственного технического
университета им. И.И. Ползунова, 656099, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46.

Лицензии: ЛР № 020822 от 21.09.98 года, ПЛД № 28-35 от 15.07.97

Отпечатано в ЦОП АлтГТУ 656099, г. Барнаул,
пр-т Ленина, 46



01.04.

РНБ Русский фонд

2004-4

28294



19 АПР 2002