

На правах рукописи
УДК 551.509.314: 551.509.322



Мезенцева Людмила Ивановна

**СОЗДАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА
ПАРАМЕТРОВ ВЕТРА ПО ПУНКТАМ СО СЛОЖНОЙ ОРОГРАФИЕЙ**

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва 2010

Диссертация выполнена в ГУ Дальневосточный региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт (ГУ ДВНИГМИ)

Научный руководитель:

доктор географических наук,
профессор
Тунеголовец Валерий Петрович

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук, профессор
Васильев Петр Петрович

доктор географических наук,
профессор
Плотников Владимир Викторович

Ведущая организация:

ГОУ ВПО Дальневосточный государственный университет

Защита диссертации состоится 17 марта 2010 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д327.003.01 при Государственном учреждении «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации» по адресу: 123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д. 11-13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения «Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации».

Автореферат разослан 10 февраля 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор географических наук



Нестеров Е. С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Эффективное освоение тех или иных территорий непременно требует знания особенностей погодных и климатических условий. Для прибрежных территорий, где эволюция поля ветра напрямую связана с взаимодействием в системе «океан-суша-атмосфера», это особенно актуально. При этом оценка ветрового поля сопряжена с существенными трудностями, в силу многофакторности объекта исследования, сложности сбора исходной информации. Для динамично развивающегося Приморского края практически все виды хозяйственной деятельности: строительство, в том числе и гидротехническое, рыбный промысел, развитие марикультуры, круглогодичная навигация и т.д., а также решение ряда задач в области гидрометеорологических прогнозов во многом зависят от знания ветровых условий и возможности их прогнозирования. Последнее диктуется тем, что поле ветра непосредственно влияет на формирование погоды и климата, термического режима вод, течений и других гидрометеорологических процессов. Необходимость более полного учета характеристик ветра в практических и научных задачах, заставляет совершенствовать существующие методы прогноза, шире использовать возможности и средства вычислительной техники, искать новые формы и методы исследования характеристик ветра.

Исследования, относящиеся к диагнозу и прогнозу ветра по пунктам, зачастую фрагментарны и не учитывают ряд факторов, формирующих поле ветра у земли, в частности влияние орографии.

Задача прогноза параметров ветра в конкретном географическом пункте, бесспорно, является актуальной, но она не всегда может быть решена надежно, например, средствами гидродинамического моделирования (ГДМ). Гидродинамические прогнозы метеорологических полей сроком до 7–10 суток настолько успешны в настоящее время, что полностью вытеснили субъекта из области прогнозирования метеорологических полей в тропосфере и стратосфере [Белоусов С.Л., Беркович Л.В., Лосев В.М., 1999, Doug McCollor, Roland Stull., 2008]. Что касается земной поверхности, то явное преимущество ГДМ выявлено только для прогнозов полей давления. Остальные метеорологические элементы и

явления погоды чаще всего предвычисляются синоптическими или статистическими (объективными) методами, например [Васильев П.П., 1999, Lemcke C., Kruizinga S., 1988]. Это общая мировая и российская практика.

В конце XX века методы математической статистики, решающие задачи прогноза элементов погоды, стали использоваться для интерпретации прогнозов ГДМ в термины элементов погоды, в связи с приемлемой точностью этих прогнозов. В настоящее время прогнозы таких элементов погоды как экстремальные и средние суточные температуры воздуха, количество осадков по суткам и полусуткам, количество облаков определенного типа, некоторых метеорологических явлений в достаточной мере обеспечены методической базой с современным техническим и информационным обеспечением. Методы прогноза ветра по пункту в последние два-три десятилетия в России не совершенствовались, возможно, ввиду кажущейся их простоты или слабого спроса для континентальных районов. Отсутствуют подобные методы и для территории Приморского края, где результаты таких прогнозов востребованы в связи с расширяющейся хозяйственной деятельностью и сложностью рельефа. Это и явилось побудительным мотивом для выполнения данной работы.

Цель и задачи работы. Целью настоящей работы является исследование механизмов формирования поля ветра и создание диагностического метода для расчета скорости и направления ветра по пунктам со сложной орографией.

При этом, метод должен с максимальной точностью, обусловленной исходным набором данных, диагностировать характеристики ветра, быть автоматизированным, включать лишь тот набор информации, который имеется в наличии у прогнозиста при заблаговременности 1–2 суток, и послужить основой для метода краткосрочного прогноза ветра. В качестве полигона выбраны станции Приморского края, где орография местности крайне сложна: изрезанная береговая черта с множеством мысов, заливов, рельеф суши варьирует от равнинных территорий до горных цепей с высотой 500-1500 м.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и последовательно решены следующие задачи:

- создать информационное обеспечение исследования;
- получить уточненные оценки параметров ветра на выбранных станциях;
- проанализировать систему взаимосвязей параметров ветрового поля и определяющих ее факторов;
- разработать физико-статистическую модель диагноза направления и скорости ветра по пункту со сложной орографией.

Научная новизна. Впервые применительно к задаче расчета параметров ветра использованы современные данные повторного анализа NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction, Washington DC/ National Center for Atmospheric Research, Boulder CO). Это позволило минимизировать затраты на сбор, систематизацию, формализацию исходных данных, исключить субъективные ошибки наблюдения, хранения, свойственные натуральным метеорологическим данным. Использование данных объективного анализа в значительной степени облегчает процесс адаптации модели для новых пунктов и территорий.

Впервые при моделировании скорости ветра по пункту подбирался признак классификации вектора априорных параметров, позволяющий уменьшить изменчивость искомого параметра от коэффициентов шероховатости подстилающей поверхности и одновременно объединить в класс ситуации со сходными термодинамическими свойствами среды. Также предложены альтернативные признаки классификации вектора параметров, определяющих поле ветра у земли.

Объектом исследования являются режим ветра на станциях Приморского края и моделирование параметров ветра на диагностическом материале.

Методы исследования – статистические, в том числе регрессионный анализ, разложение на классы, оценки временных рядов.

Автором диссертации на защиту выносятся следующие результаты работы и положения:

- Обновленные и детализированные режимные характеристики скорости и направления ветра, а также оценки климатических трендов многолетних рядов, которые более адекватно отражают эволюцию поля ветра на станциях Приморского края.

- Разбиение исходной выборки определяющих скорость ветра признаков на классы по направлению барического градиента в приземном слое является лучшим классификационным подходом при расчете скорости ветра по пункту со сложными орографическими эффектами.

- Алгоритм, предложенный для расчета направления ветра, является на настоящее время оптимальным для пунктов со сложной орографией.

- Автоматизированный физико-статистический метод расчета скорости ветра по пункту со сложной орографией, основанный на предварительном разбиении исходной выборки на классы и использовании синхронных связей.

Практическая значимость работы. Метод и технология расчета параметров ветра по пункту разработаны с учетом поступления метеорологической информации по оперативным каналам связи и идеологии составления прогнозов морского назначения на короткие сроки. Разработанный метод позволяет объективно, в оперативные сроки, экономично с точки зрения времени специалистов и технических ресурсов оценить характеристики ветра по пунктам. Поставленная задача решена комплексно: на базе одного сводного массива данных разработаны методы для расчета направления и средней скорости ветра по пункту, охвачены все сезоны года и все направления ветра. Результаты могут быть использованы при принятии решения в прогнозах погоды общего и морского назначения с суточной и большей заблаговременностью (последнее определяется качеством прогностических полей ГДМ).

В дальнейшем планируется адаптировать диагностическую модель к оперативно поступающей по каналам связи прогностической информации, реализуя подход «идеального прогноза» (концепция PP - Perfect Prognosis). По результатам оперативных испытаний внести при необходимости коррективы в модель и технологию прогноза.

Обоснованность и достоверность результатов определяется применением стандартных, апробированных в метеорологии методов сбора и обработки данных, использованием максимально полной современной базы гидрометеорологических данных, многоаспектной проверкой полученных результатов, включая авторские

испытания разработанного метода расчета направления и скорости ветра по пунктам Приморского края, использованием современных методов прикладного статистического анализа, публикациями в рецензируемых изданиях.

Апробация работы и публикации. Результаты работы и основные положения представлялись в докладах на следующих совещаниях и конференциях:

- 1) Ученых советах ДВНИГМИ в 2007-2009 гг.;
- 2) оперативно-производственном совещании-семинаре представителей Росгидромета, ДВНИГМИ, Приморского, Сахалинского, Камчатского, Дальневосточного, Забайкальского и Якутского УГМС по вопросам внедрения в оперативную практику методов и моделей ДВНИГМИ, Владивосток, сентябрь 2008;
- 3) международной научной конференции «Исследования Мирового океана», посвященной 100-летию со дня рождения профессора И.В. Кизеветтера, Владивосток, май 2008;
- 4) научно-практической конференции «Гидрометеорология Дальнего Востока и окраинных морей Тихого океана», Владивосток, июль 2005;
- 5) ежегодном 17-ом совещании стран-участниц the North Pacific Marine Science Organization с тематическим названием «Beyond observations to achieving understanding and forecasting in a changing North Pacific», Далянь, Народная республика Китай, октябрь-ноябрь 2008.

Работа выполнялась в рамках НИР внутреннего плана ДВНИГМИ (2006-2007 гг.) и подпрограммы «Региональные аспекты научных исследований в области гидрометеорологии и смежных с ней областей» ЦНТП-8, тема 8.64 плана НИР Росгидромета (2008-2009 гг.).

По теме диссертации опубликовано 7 научных работ, в том числе 2 из списка ВАК.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Общий объем без приложений составляет 111 страниц. Работа включает 22 таблицы, 15 рисунков и библиографический список из 105 публикаций.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность работы, формулируются цель и задачи исследования. Приведены защищаемые положения и аргументы в пользу практической значимости и новизны исследований, а также обоснованности научных положений и выводов.

Глава 1. Состояние изученности вопроса

В двух разделах представлен обзор современных методов диагноза и прогноза параметров ветра, а также уровень их качества. Исследован опыт использования различных параметров атмосферы в качестве определяющих ветер признаков. Приведены основные современные концепции решения задач прогноза элементов погоды в целом в России и за рубежом.

Использование синхронных связей при решении задачи прогноза направления и скорости ветра является традиционным подходом (так поступали, например, Е.П. Веселов, 1967, А.И. Снитковский, 1971, Г.С. Моисеенко, 1979) и физически оправданным, в связи с малой информативностью предшествующих метеорологических полей и процессов для поля ветра. В качестве предсказателей включаются известные параметры, отражающие возмущенность барического поля у земли, характер стратификации, тип барического поля, скорость ветра в нижней тропосфере, орографию местности. При прогнозировании с заблаговременностью более суток такие параметры как величина вертикального градиента температуры, распределение ветра с высотой оценить и использовать крайне сложно. С этой целью для прогнозов малой заблаговременности часто привлекаются данные утреннего радиозондирования, что значительно повышает качество прогноза.

В ряде работ: О.Н. Белинского, 1971, Е.П. Веселова, 1967, на достаточно большом диагностическом материале для определенного района рассчитаны коэффициенты перехода от геострофического ветра к фактическому с разным базовым набором исходных данных. Однако, следует иметь в виду, что изменчивость переходных коэффициентов довольно значительна. По оценкам А.И. Снитковского с обеспеченностью 80% она может варьировать от 0,6 до 3,0 (1970 г). Без дополнительного учета ряда атмосферных факторов, оказывающих

существенное влияние на скорость ветра у земли, можно получить заметно завышенную или заниженную прогностическую скорость ветра.

Глава 2. Постановка задачи

В разделе 2.1 приведено описание исходных данных, которые используются в работе для выявления особенностей распределения характеристик ветра и для целей моделирования. Исходными данными служили архив срочных метеорологических наблюдений в форматах TMC (таблицы метеорологические срочные) и повторный анализ гидрометеорологических параметров в кодах GRIB - архив NCEP/NCAR за период 1971–2000 гг.

Из архива TMC выбраны и отконтролированы данные о скорости и направлении ветра в сроки наблюдений по станциям Приморского края. На базе архива повторного анализа созданы наборы полей геопотенциала и температуры воздуха на стандартных уровнях нижней и средней тропосферы, заданные в узлах регулярной сетки $2,5 \times 2,5^\circ$, по району $40^\circ\text{--}50^\circ$ с.ш., $127,5^\circ\text{--}40^\circ$ в.д. за сроки 00 и 12 ВСВ. Последние используются для расчета априорных параметров модели.

Использование данных повторного анализа для расчета независимых параметров имеет как преимущества, так и недостатки по сравнению с применением натуральных данных. К первым следует отнести явное преимущество данных, заданных в узлах сетки, для расчета пространственных параметров. Кроме этого исследователь не обременен ошибками наблюдения и хранения. Значительно упрощается сбор исходной информации и, таким образом, упрощается процесс адаптации модели для других пунктов. При этом существует некоторое сглаживание поля, что, конечно, приводит к усреднению рассчитываемой характеристики, уменьшению экстремальных значений.

В разделе 2.2 приводятся обоснование и описание выбранного метода, метода множественной регрессии, для расчета скорости ветра и критерии оценки информативности влияющих признаков.

Оптимизация параметров модели осуществлялась с использованием системы стандартных оценок, принятых в практике Росгидромета. Оценки представлены в разделе 2.3.

Глава 3. Климатические обобщения

Приведен список и местоположение 12 станций Приморского края, для которых рассчитаны климатические характеристики направления и скорости ветра. Ряды ветра исследованы на предмет методической неоднородности: изменение сроков наблюдений, смена приборной базы.

В разделе 3.1 представлены и проанализированы основные климатические характеристики скорости ветра: средние и максимальные значения, средние квадратические отклонения средней месячной скорости ветра и характеристики изменчивости скорости ветра в срок наблюдения. Приведены рассчитанные коэффициенты порывистости ветра G (отношение максимальной скорости ветра к средней скорости в срок наблюдения) и его изменчивость для станции Владивосток с детализацией по направлению ветра, сезону и сроку наблюдения. Порывистость ветра – редко рассчитываемый показатель в связи с тем, что порыв ветра в срок наблюдения не хранится в стандартных климатологических таблицах, может быть выписан только с книжек наблюдения КМ-01. Средние значения G для станции Владивосток составляют 1,2–1,3 для сильных и 1,6–1,7 для слабых ветров.

В разделе 3.2 представлены повторяемость направления ветра для различных градаций скорости и розы ветров для отдельных станций. Полученные распределения не противоречат известным исследованиям [К. Рамедж, 1976, Н.И. Лисогурский, А.З. Петричев, 1980] о муссонном характере климата на территории Приморского края, что особенно заметно на побережье. В зимние месяцы преобладающими направлениями являются северное, северо-западное и западное (в 38–84%), в летние – от юго-западного, южного до юго-восточного, восточного на восточном побережье (до 31–55% на исследуемых станциях).

В разделе 3.3 анализируется многолетний ход скорости ветра. Выявлено наличие сдвигов в ходе исследуемого параметра, связанных как с изменениями методики наблюдений, так и колебаниями климата.

Для исследования многолетнего хода скорости ветра на предмет линейных трендов климатического характера выбран временной ряд с 1970–1976 по 2007 годы (начало периода определено датой установки анеморумбометров на станции). Этот

период не имеет неоднородностей, внесенных методически, однако «ползущая» неоднородность, связанная с урбанизацией, вырубкой лесов и пр. не исключается.

В таблице 1 для четырех станций края приведены характеристики линейных трендов, которые показывают, что в исследуемый период имеет место ослабление ветра. Оно наиболее выражено для береговых станций: Владивостока и Тернея. Скорость ветра здесь ослабевает на 0,5-0,7 м/с за 10 лет в осенне-зимний период и на 0,2-0,3 м/с за 10 лет в летние месяцы. Коэффициенты детерминации линейного тренда (R^2) в отдельные месяцы достигают 0,5-0,6. Ослабление скорости ветра в конце XX века замечены и другими авторами, в работе Мещерской А.В. и др. (2006 г.) применительно к северным территориям России.

Таблица 1

Коэффициенты детерминации (R^2) и коэффициенты линейных трендов (λ , м/с×10лет), рассчитанные для средних месячных значений скорости ветра

Характеристики линейных трендов	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Терней, 1976-2007 гг.												
R^2	0,52	0,44	0,32	0,26	0,45	0,60	0,57	0,61	0,51	0,52	0,39	0,38
λ	-0,71	-0,66	-0,38	-0,32	-0,38	-0,34	-0,34	-0,46	-0,40	-0,54	-0,53	-0,53
Владивосток, 1972-2007 гг.												
R^2	0,30	0,51	0,26	0,36	0,39	0,19	0,04	0,09	0,37	0,61	0,52	0,28
λ	-0,49	-0,71	-0,29	-0,41	-0,37	-0,28	-0,12	-0,19	-0,35	-0,51	-0,51	-0,42
Анучино, 1975-2007 гг.												
R^2	0,37	0,23	0,31	0,31	0,49	0,47	0,49	0,51	0,38	0,38	0,57	0,63
λ	-0,28	-0,24	-0,23	-0,30	-0,44	-0,32	-0,37	-0,41	-0,41	-0,41	-0,46	-0,53
Пограничный, 1973-2007 гг.												
R^2	0,14	0,28	0,09	0,37	0,34	0,09	0,23	0,22	0,30	0,30	0,31	0,25
λ	-0,15	-0,18	-0,11	-0,32	-0,26	-0,08	-0,12	-0,14	-0,20	-0,20	-0,24	-0,20

Глава 4. Моделирование параметров ветра по пункту с помощью данных объективного анализа

В разделе 4.1 дано обоснование выбора зависимых и независимых параметров модели. К зависимым параметрам отнесена скорость ветра в срок наблюдения по пункту, выбранная как максимальная из трех сроков, ближайших к сроку расчета. При формировании ряда выполнялось условие, что направление ветра от срока к сроку не менялось более чем на 30°, в противном случае скорость ветра принималась равной скорости в основной срок. Мотивацией к такому отбору послужили: 1) при прогнозе скорости ветра прогнозируется максимальная за время прогноза скорость; 2) адаптация полей ветра и давления составляет около 3-х часов, по некоторым исследованиям несколько больше [Л.С. Гандин, 1955, И.А. Кибель,

1955, Э.А. Морозова, 1978]. Также искомым параметром являлось направление ветра в срок.

Модель «обучалась» на данных станции Владивосток срока 00 ВСВ за период 1971–1995 гг. Результаты модельных расчетов были адаптированы еще для пяти станций края: Находки, Посъета, Тернея, Кавалерова и Астраханки, и срока 06 ВСВ. Большинство станций отличаются заметной повторяемостью сильных ветров (на прибрежных станциях зимой отмечается до 10–15 дней с сильным ветром) и изменчивостью характеристик ветра.

К независимым параметрам модели отнесены градиенты геопотенциала G_{1000} , G_{850} , G_{500} , его проекции на координатные оси Gx_{1000} , Gy_{1000} , Gx_{850} , Gy_{850} , Gx_{500} , Gy_{500} , оператор Лапласа геопотенциала на стандартных изобарических поверхностях AT_{1000} и AT_{500} (LA_{1000} , LA_{500}), градиент температуры и его составляющие на AT_{850} (GT_{850} , GTx_{850} , Gy_{850}), значения относительного геопотенциала OT_{1000}^{500} и OT_{1000}^{850} и тенденция геопотенциала H_{1000} за 12 часов (ΔH_{1000}). Перечисленные параметры рассчитаны для каждого узла сетки $2,5 \times 2,5^\circ$ вблизи пункта расчета по району 40° – 50° с.ш., $127,5^\circ$ – 140° в.д., всего 30 узлов, для сроков 00 и 12 ВСВ.

В разделе 4.2 сформулированы принципы деления вектора признаков на таксоны для задачи расчета и последующего прогноза скорости ветра.

Использование метода множественной регрессии предполагает наличие линейных зависимостей между заранее заданными параметрами и рассчитываемой характеристикой. Такие зависимости в реальной атмосфере имеют место далеко не всегда. Так, связь между барическим градиентом, взятым в качестве известной величины, и скоростью ветра близка к линейной. Эффекты орографического искажения ветра, влияние вихревой структуры поля на величину скорости ветра учесть линейными зависимостями не представляется возможным. В регрессионных моделях используются, по крайней мере, два приема для учета нелинейности атмосферных процессов. Модель наполняют нелинейными параметрами или массив данных разбивают на классы по какому-либо признаку, приближая зависимости к кусочно-линейным, при этом часто с целью уменьшения дисперсии искомого параметра.

Исследовано несколько подходов к разбиению вектора предикторов на классы. В качестве приоритетного использовалась классификация по румбам барического градиента в приземном слое. Такой подход обусловлен значительной зависимостью скорости ветра в приземном слое от силы трения. При ограничении исходных ситуаций 45°-ым сектором барического градиента у земли, в значительной степени сокращаются вариации зависимости скорости ветра от рельефа местности (по сути - коэффициентов шероховатости) и автоматически учитывается ориентация барической пары в пространстве, а значит, косвенным образом учитывается стратификация нижней тропосферы и ее термическое состояние.

Следует отметить, что модель настраивалась отдельно для каждого сезона. В противном случае, нельзя надеяться на термическую однородность и сходство ситуаций по вертикальной структуре нижней тропосферы в классе. Имеются в виду сезоны синоптические, т.е. периоды, «в рамках которых синоптические процессы над выделенной территорией отличаются аналогичностью и встречаются процессы, характерные для следующего сезона» по [С.Т. Пагава, 1953]. Для территории Дальнего Востока принято выделять шесть таких сезонов: весна, лето, осень, предзимье, первая и вторая половины зимы [Н.М. Захарова, 1978, Т.М. Журавлева, 1981]. Средние многолетние даты наступления синоптических сезонов приходятся на первые числа четных месяцев. Это позволило, с определенной погрешностью, перейти к календарным датам, объединив в один сезон по два календарных месяца, и сохранить большое число классов без ущерба для обеспеченности модели.

В качестве альтернативного варианта разбиения вектора независимых параметров на классы производилось деление на классы по значению лапласиана геопотенциала H_{1000} (относительно нормы, на величину $\pm ,67\sigma$) и по направлению и величине барического градиента G_{1000} .

Для целей классификации методы интерполяции не использовались, ближайший узел сетки считался репрезентативным для пункта расчета без доказательств.

Чтобы выявить лучший классификационный признак при решении задачи расчета скорости ветра по пункту со сложной орографией, проводились

эксперименты, в рамках которых строились регрессионные схемы с определенным набором независимых параметров и разными признаками деления исходной выборки на классы. Результаты оценивались на независимой выборке по набору стандартных оценок. Заметное преимущество (оценки в среднем на 5–8 % выше) имеют модели с классификацией по румбу приземного градиента, либо по румбу и значению градиента. Модели без классификации и с классификацией по значению LA_{1000} имеют худшие оценки.

Таким образом, эксперименты послужили доказательной базой в пользу выбора признака классификации. На последующих этапах моделирования использовался только один вид классификации вектора параметров - деление на классы по румбу барического градиента у земли G_{1000} .

В разделе 4.3 сформулированы принципы выбора оптимального сочетания предикторов модели, т.е. такого набора предикторов, который наилучшим образом описывал бы предиктант на независимой выборке в классе.

Для формирования набора предикторов использовалось два подхода. В первом случае отбор независимых параметров осуществлялся субъективно на основании физических законов и результатов корреляционного анализа. Во втором использовался объективный корреляционный отбор параметров, и исследователем задавались только пороговые значения этого отбора.

Корреляционный анализ показал, что наиболее информативными признаками для скорости ветра являются градиент геопотенциала или его проекции на уровне 1000 гПа в ближайших узлах расчетной сетки (коэффициенты парной корреляции R близки 0,5–0,7). Следующие по вкладу – градиенты геопотенциала и температуры воздуха на уровне 850 гПа. Зависимость скорости ветра от относительного геопотенциала, градиента геопотенциала в средней тропосфере и тенденции геопотенциала у земли существенно меньше. Такие результаты совершенно согласуются с выводами гидродинамики, сделанными при анализе геострофических и агеострофических составляющих скорости ветра [Л.С. Гандин, 1955].

Если выбирать независимые параметры в удаленной от пункта расчета точке, то для отдельных классов/сезонов выявляется более высокая линейная зависимость искомого параметра с «неосновными» априорными признаками. Часто абсолютные

значения R для «удаленных» лапласиана и относительного геопотенциала больше, чем соответствующие коэффициенты корреляции для ближайшего к пункту расчета узла. Эти связи также были использованы при построении регрессионных схем.

Регрессионные модели с субъективным, набором параметров отличаются друг от друга сочетанием предикторов, которые чаще всего относятся к ближайшему узлу расчета (для ст. Владивосток это точка с координатами $42,5^\circ$ с.ш., $132,5^\circ$ в.д.). Модели, построенные на принципе объективного отбора параметров, имеют один общий прием – предикторы ранжированы по максимальной линейной зависимости их с предиктантом. В уравнение попадают предикторы с меньшим порядковым номером. Число членов уравнения составляет 10 % от длины выборки, но не более 8, 10 или 15 членов. Некоторые модели имеют ограничение на уровень связности между предиктантом и предикторами ($|R| > 0.2$) и между предикторами ($|R| < 0.5$ либо $|R| < R_{кр}$, здесь $R_{кр}$ при уровне значимости 0,05). Всего построено более 30 моделей, различающихся классификационным признаком, набором параметров и способом их отбора.

Некоторые результаты экспериментов по выявлению оптимального набора параметров для двух сезонов приведены в таблице 2. Для представленных в этой таблице моделей предварительно производилась классификация исходных данных по признаку направления барического градиента (8 классов). Модель с условным индексом 2605 содержит фиксированный субъективно закреплённый набор независимых параметров для всех классов и сезонов: Gx_{1000} , Gy_{1000} , GTx_{850} , GTy_{850} , LA_{1000} . Последний параметр взят в точках с координатами $42,5^\circ$ с.ш., 140° в.д. и $42,5^\circ$ с.ш., $127,5^\circ$ в.д., максимально удаленных по широте от пункта расчета. Для модели 2750 параметры выбирались по величине R в классе: по максимальным абсолютным значениям R между предиктантом и предикторами при условии его превышения пороговой величины для данной длины ряда – 0,2. Связанность предикторов ограничивалась значением $R_{кр}$. Количество предикторов было ограничено 10% от длины выборки, но не превышало 10. Для модели 2809 также использовался корреляционный отбор параметров. В отличие от модели 2750 независимые параметры выбирались при условии, что $|r|$ между ними меньше 0,5, количество предикторов составляло 10% от длины выборки, но не более 8. Кроме

этого, использовался несколько расширенный набор независимых параметров; дополнительно использовались градиент геопотенциала и его проекции на уровне H_{850} , значения OT_{1000}^{500} и OT_{1000}^{850} , ΔH_{1000} . Последняя в этой таблице модель 2849 учитывала тип циркуляции в средней тропосфере и включала неменяющийся набор параметров: составляющие барического градиента на H_{1000} и H_{500} , термического градиента на H_{850} , оператор Лапласа на H_{500} и значения OT_{1000}^{500} и OT_{1000}^{850} в ближайшем узле к точке расчета.

Таблица 2

Оценки модельных расчетов скорости ветра для станции Владивосток для II - III сезонов (февраля-марта и апреля-мая) с применением классификации по румбу барического градиента

Сезон	Класс (румб градиента)	Число случаев	Абсолютная ошибка, м/с				Pv2, %				Pv5, %				R			
			Модели				Модели				Модели				Модели			
			2605	2750	2809	2849	2605	2750	2809	2849	2605	2750	2809	2849	2605	2750	2809	2849
II	N	13	2,0	1,9	1,4	1,2	54	62	77	85	92	92	100	100	0,7	0,7	0,9	0,9
	NE	3	2,6	2,5	3,0	4,3	33	33	50	0	100	100	83	67	0,9	0,4	0,2	1,0
	E	7	2,8	2,4	1,9	3,6	29	43	57	0	86	86	86	100	0,4	0,5	0,4	0,1
	SE	23	1,5	1,6	1,8	1,3	70	74	61	83	100	96	100	100	0,8	0,7	0,7	0,8
	S	51	1,5	1,4	1,4	1,5	73	77	73	77	100	100	100	100	0,5	0,6	0,6	0,6
	SW	85	1,6	1,8	1,5	1,6	69	62	68	62	100	99	98	99	0,7	0,7	0,7	0,7
	W	83	1,8	1,9	1,7	1,8	64	55	65	59	99	99	99	99	0,7	0,7	0,7	0,7
	NW	29	2,6	2,4	2,3	2,6	41	41	41	35	93	93	97	97	0,7	0,7	0,7	0,6
	Всего	294	1,8	1,8	1,7	1,8	64	61	65	62	98	98	98	99	0,7	0,7	0,8	0,7
III	N	18	2,3	2,5	2,5	2,2	44	50	39	50	89	94	94	89	0,2	0,6	0,5	0,4
	NE	18	2,5	2,6	2,1	2,7	61	33	33	50	89	94	100	83	-0,1	0,1	1,0	-0,2
	E	27	3,1	2,9	2,6	3,1	48	41	50	48	70	82	89	74	0,5	0,5	0,0	0,3
	SE	56	2,1	1,9	3,2	2,0	59	63	37	61	95	96	74	95	0,6	0,7	0,6	0,7
	S	94	1,9	2,0	1,9	1,8	59	54	59	61	95	95	98	96	0,6	0,6	0,7	0,6
	SW	51	1,7	1,7	1,8	1,6	69	69	61	67	100	98	99	98	0,7	0,6	0,7	0,6
	W	18	2,6	2,3	1,9	2,3	61	56	59	56	83	89	100	89	0,3	0,5	0,6	0,5
	NW	22	2,2	1,6	2,5	2,5	50	64	56	41	96	96	94	96	0,7	0,9	0,4	0,6
	Всего	304	2,1	2,1	1,7	2,1	58	56	68	58	92	94	96	92	0,6	0,6	0,9	0,6

Для выбранных моделей в таблице 2 в качестве лучшей можно указать модель 2809. Однако, для юго-восточного румба (SE) оценки этой модели оказались худшими. Одна из самых простых по набору предикторов модель 2605, в которой учитывается форма циркуляции к востоку и западу от точки расчета (включены LA_{1000} , удаленные от точки расчета к востоку и западу), должна была учесть влияние центробежной силы для ветров этих же румбов. В действительности такой подход показал вполне успешные результаты для классов SW, W (см. в таблице 2 окрашенные ячейки).

Чаще всего, в четырех случаях из пяти, в качестве лучших выбирались регрессионные схемы с объективным отбором предикторов. Самый высокий рейтинг имеют модели 2749 и 2809, в которых применялось ограничение на связность предикторов с $|R| < 0,5$ и уровень связности предиктанта с предиктором с $|R| > 0,2$, число членов ряда ограничивалось 8 и не превышало 10% от длины выборки. Модели отличаются только исходным набором предикторов.

Многочисленные эксперименты с разным сочетанием предикторов показали, что из всей совокупности моделей, построенных на данном наборе априорных параметров зависимой выборки, ни одна модель не показала уверенного преимущества над другими на независимом материале.

Следовательно, завершающим этапом моделирования должна стать группировка моделей по оценкам качества. Предлагается следовать правилу: расчет скорости ветра производить по моделям, для которых абсолютные ошибки расчетов минимальны, с предварительным округлением их до 0,1; при неоднозначном решении выбирать модели с максимальной оценкой $P_{\downarrow 2}$, с предварительным округлением ее до целых. В случае, если вновь имеется два и более результата с равнозначными оценками, выбирать модель с максимальной оценкой $P_{\downarrow 5}$.

Для каждого сезона и каждого класса выбраны свои, лучшие с точки зрения принятых оценок, модели. Уравнения регрессии, закрепленные за этими моделями, при этом не хранятся. Они каждый раз, для каждой даты, пересчитываются заново, поскольку реализована адаптивная регрессионная схема расчета, когда члены независимой выборки постепенно добавляются, а крайние первые члены исходного ряда исключаются (на самом деле, коэффициенты и члены уравнений в классе меняются незначительно).

Так, например, модель 2809 (описание модели приведено ранее) является лучшей для сезона первой половины зимы в классе «NW» (северо-западный румб барического градиента). Для расчета скорости ветра на 6 декабря 1999 г. использовалось уравнение:

$$V = 5,93 + 0,51GTx_{850}^{45,0,130,0} + 0,33G_{1000}^{45,0,132,5} + 0,21Gy_{1000}^{42,5,127,5} - 0,20LA_{500}^{47,5,137,5} - 0,18Gx_{1000}^{42,5,135,0} + 0,07LA_{500}^{40,0,132,5} + 0,02Gy_{1000}^{50,0,132,5} - 0,01Gy_{850}^{42,5,140,0}.$$

Нижний индекс указывает уровень стандартной изобарической поверхности, верхний – координаты узла выбранного параметра. В модель вошли составляющие

термического и барического градиентов у земли и на уровне H_{850} , значения LA на H_{500} .

Модель 2845 (отбор по максимальному значению R в классе, количество предикторов 10 % от длины выборки, но не больше 8) трижды выбиралась как лучшая, ее уравнение для 28 марта 2000 г. (северо-восточный румб, вторая половина зимы) выглядит следующим образом:

$$V = 7,45 - 2,01Gx_{850}^{50,0-137,5} + 1,59Gx_{850}^{50,0-135,0} + 1,35Gx_{850}^{50,0-140,0} - 0,09Gx_{850}^{47,5-140,0}.$$

Абсолютная ошибка расчетов по этой модели составляет 1,5 м/с, что для NE румба/класса является хорошей оценкой, в целом данный класс отличается низкими оценками качества. Модель учитывает только составляющие барического градиента на уровне H_{850} в узлах сетки, удаленных к северо-востоку от точки расчета. При таком расположении барической пары (высокое давление - к северо-востоку, низкое - к юго-западу от точки расчета) наблюдаются ветры восточного, северо-восточного направлений, их повторяемость самая незначительная (1-2%). Класс открытости станции для северо-восточного ветра по Ю.В. Милевскому - 4γ (станция ниже окружающих предметов среди элементов защищенности).

В разделе 4.4 представлена технологическая схема, сложившаяся на настоящем этапе развития физико-статистической модели расчета скорости ветра по пункту. Технология включает следующие этапы:

1. Выбираются данные о скорости и направлении ветра на станции и значения геопотенциала и температуры воздуха на стандартных уровнях 1000, 850 и 500 гПа в узлах регулярной сетки по региону, представленные в кодах GRIB (средства SQL-сервера).
2. Параметры ветра приводятся к формату модели. Рассчитываются независимые параметры модели: производные геопотенциала, температуры, относительный геопотенциал и др., для 30 узлов по району расчета.
3. Весь массив данных делится на синоптические сезоны.
4. Пункт расчета визуально по карте «привязывается» к узлу сетки, по направлению барического градиента в котором исходные данные модели разбиваются на классы.
5. Рассчитываются корреляционные матрицы для каждой пары предиктор-предиктант, предиктор-предиктор (средства MatLab) для каждого класса/сезона.
6. На обучающей выборке создаются 15 регрессионных схем для расчета скорости ветра, которые в виде параметров модели хранятся в базе данных Sakura.

7. По созданным уравнениям регрессии на независимой выборке рассчитывается скорость ветра на станции, оценки отписываются в сводные таблицы Excel и БД Sakura.

8. По решающим правилам за каждым классом/сезоном закрепляется вид регрессионной схемы, являющейся лучшей и в дальнейшем основной для диагноза (в перспективе – прогноза) скорости ветра по станции.

При адаптации модели для новой станции на территории Приморского края или другого срока, исключается выполнение этапа 2 в части расчета независимых параметров модели. Если станция не принадлежит выбранному региону, то следует выбрать и закрепить район, в узлах сетки которого будут рассчитываться независимые параметры модели.

В разделе 4.5 сформулированы физико-статистические правила расчета направления ветра по пункту со сложной орографией. Для расчета предлагается использовать только параметры уже ранее рассчитанные в работе при определении скорости ветра. Используются следующие приемы: разбиение параметров на классы, расчет повторяемостей, и законы физики, определяющие движение воздуха у земли.

Глава 5. Оценка результатов моделирования

Оценки успешности расчетов скорости и направления ветра в срок для шести станций Приморского края получены по результатам авторских испытаний на диагностическом материале независимой выборки 1996–2000 гг.

В разделе 5.1 приведены и обсуждаются средние за 5 лет оценки качества диагноза скорости ветра с помощью комплексной регрессионной модели. Средняя абсолютная ошибка расчетов δ для станций с малой изменчивостью предиктанта – Кавалерова и Астраханки, составила 1,3 м/с, для станций с большей изменчивостью - 1,6 м/с для Находки и Тернея и 1,8 м/с для Владивостока и Посъета. Отклонения расчетных значений скорости ветра от фактических для этих групп станций в 80-81%, 70% и 67-68%, соответственно, не превышают 2 м/с (оценка $P_{\nu 2}$). Отклонениям расчетов от факта на ± 5 м/с (оценка $P_{\nu 5}$) соответствует 95–99% случаев. Коэффициент корреляции близок к величине 0,7 для всех станций. Систематическая ошибка (или средняя арифметическая) δ рассчитывалась только для классов событий, при осреднении она теряет смысл. Для отдельных классов (NW румб в

сезоне второй половины зимы, W румб в сезоне весны для ст. Владивосток и др.) значения δ достигают 1,5 м/с, что следует учесть при оперативном использовании метода.

В таблице 3 представлены оценки качества расчетов скорости ветра для станций Владивосток и Находка (важнейших портов Дальнего Востока) с детализацией по классам для трех сезонов.

Таблица 3

Оценки качества расчета скорости ветра по станциям Владивосток и Находка с детализацией по классам и сезонам: абсолютная ошибка δ (м/с), оценки Pv2 (%) и Pv5 (%), средняя арифметическая ошибка δ (м/с) и коэффициент корреляции R

Сезон	Класс	Число случаев	ст. Владивосток					ст. Находка				
			δ	Pv2	Pv5	δ	R	δ	Pv2	Pv5	δ	R
I	N	17	1,8	71	94	0,7	0,77	1,3	88	100	0,0	0,64
	NE	6	3,0	50	83	0,8	0,15	1,1	83	100	-0,7	0,84
	E	6	1,8	67	100	0,4	0,51	1,7	67	100	0,3	0,08
	SE	17	1,5	76	100	-0,3	0,87	1,4	88	94	-0,5	0,44
	S	41	1,3	80	100	0,2	0,69	0,8	93	100	0,3	0,61
	SW	51	1,9	61	100	-0,1	0,42	2,0	55	100	-0,3	0,73
	W	119	1,6	71	100	0,6	0,71	1,9	59	97	0,0	0,68
	NW	52	1,8	58	100	1,5	0,86	1,6	62	100	0,6	0,79
II	N	13	1,2	85	100	0,9	0,89	1,6	69	100	0,1	0,74
	NE	3	1,5	67	100	1,5	0,80	2,0	67	100	0,3	0,18
	E	7	1,9	57	86	1,3	0,44	1,6	71	100	1,1	0,46
	SE	23	1,2	78	100	0,5	0,88	1,8	61	96	0,5	0,53
	S	51	1,4	76	100	0,0	0,56	1,3	79	98	0,1	0,67
	SW	85	1,5	68	98	-0,1	0,70	1,9	61	95	0,5	0,78
	W	83	1,7	73	98	1,1	0,73	2,2	51	93	0,2	0,72
	NW	29	2,2	52	97	1,5	0,72	2,2	59	93	0,1	0,52
III	N	18	2,0	72	78	1,4	0,51	1,4	72	94	0,2	0,49
	NE	18	2,4	61	94	0,9	0,11	1,9	72	89	-1,0	0,67
	E	27	2,7	48	85	1,5	0,54	1,8	59	100	0,8	0,64
	SE	56	1,9	70	96	0,5	0,72	1,6	70	96	-0,1	0,38
	S	94	1,8	63	97	0,6	0,69	1,6	71	99	-0,2	0,27
	SW	51	1,6	67	98	0,5	0,65	1,9	63	96	0,5	0,70
	W	18	2,2	67	89	1,5	0,60	1,6	61	100	0,9	0,58
	NW	22	1,6	64	95	1,0	0,87	2,0	59	86	0,2	0,34

Примечание: I – первая половина зимы, II – вторая половина зимы, III – весна

На рисунке 1, в качестве примера согласованности фактических и модельных данных, приведен ход фактической скорости ветра и его расчетные значения на станции Владивосток для срок 00 ВСВ в апреле 2000 г. Абсолютная ошибка расчетов для апреля 2000 г. составила 2,1 м/с. Апрель выбран в силу тех обстоятельств, что обычно представлен всеми направлениями ветра и характеризуется большими скоростями ветра.

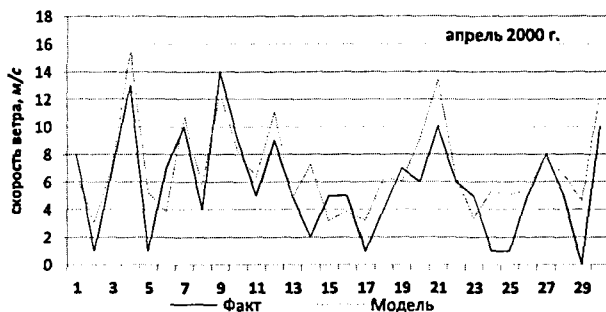


Рис. 1. Фактическая скорость ветра и скорость ветра, рассчитанная с помощью регрессионной модели, на ст. Владивосток в апреле 2000 г.

При прогнозировании метеорологического элемента важно понимание, насколько достоверна полученная величина на границах распределения. С этой целью результаты модельных расчетов сгруппированы по градациям фактической скорости ветра. Результаты для двух станций представлены в таблице 4. Для них более успешно моделируется градация умеренного ветра 5-10 м/с, наиболее часто повторяющегося. Для станции Владивосток хуже других оправдывается ветер в градации слабого. Для ст. Находка неудовлетворительное качество для градации 11-15 м/с – абсолютная ошибка 3,2-4,3 м/с.

Таблица 4

Оценки качества расчета скорости ветра по станциям Владивосток и Находка с детализацией по градациям скорости и сезонам: абсолютная ошибка δ (м/с), оценки Pv2 (%) и Pv5 (%), средняя арифметическая ошибки δ (м/с)

Сезон	Скорость м/с	ст. Владивосток					ст. Находка				
		Число случаев	δ	Pv2	Pv5	δ	Число случаев	δ	Pv2	Pv5	δ
I	00-04	52	1,9	62	98	1,9	181	1,4	74	99	0,9
	05-10	203	1,5	72	100	0,3	113	1,8	60	99	-0,7
	11-15	51	1,8	61	100	0,4	16	3,2	38	81	-3,2
	16-20	3	1,8	33	100	-1,5	0	-	-	-	-
II	00-04	58	2,2	52	95	2,1	180	1,8	64	97	1,3
	05-10	201	1,4	74	99	0,2	103	1,8	63	97	-1,0
	11-15	33	1,4	85	100	-0,2	12	4,1	17	58	-3,6
	16-20	2	1,6	50	100	1,6	0	-	-	-	-
III	00-04	90	2,9	38	84	2,9	216	1,5	74	98	1,0
	05-10	185	1,4	77	99	0,0	85	2,2	53	95	-1,9
	11-15	28	1,9	64	93	-1,2	4	4,3	25	50	-4,3

Сравнение фактических карт погоды и карт реанализа при большой ошибке расчетов (просчет на 4 м/с и более) показало, что при наличии центра глубокого циклона на акватории Японского моря (такие ситуации соответствуют

значительным усилениям ветра) поля реанализа в значительной степени сглажены и не отражают действительной глубины барического образования. Вследствие этого получены заниженные значения барического градиента и расчетные значения скорости.

В работе также приведены оценки качества действующих региональных методов прогноза скорости ветра: физико-статистических методов Е.М. Вербицкой, 2003, и Г.С. Моисеенко, 1986, и синоптического метода Приморского УГМС. Методические расчеты по качеству сопоставимы и в ряде случаев превосходят результаты указанных методов. Это может являться основанием для апробации полученных результатов к прогностической практике.

В разделе 5.2 приведены результаты расчетов направления ветра для шести станций Приморского края. Рассматривались все случаи и отдельно случаи, когда скорость фактического ветра превышала 5 м/с (при маловетрии направление ветра неустойчиво, поэтому его расчет затруднителен). Исключение случаев со скоростью ветра 5 м/с и менее повышает успешность расчета направления на 5–10%.

Для станции Владивосток отклонения расчетного направления ветра от фактического не более чем на 30° в среднем составляют 75% от общего числа случаев, при исключении слабого ветра – 87% (рис.2). Абсолютное отклонение расчетного направления ветра от фактического в среднем по всей выборке равно 35°, при исключении слабого ветра – 24°.

Для других станций: Находки, Посьета, Тернея, Кавалерова и Астраханки, успешность расчетов находится в тех же пределах, что и для станции Владивосток. Отклонение расчетного направления ветра от фактического не более, чем на 30°, составляет 40–65% от общего числа случаев, для ветра более 5 м/с – 56–81%. В соседнюю градацию (отклонение на 31–60°) попадает еще от 12 до 20% всех оцениваемых случаев и от 7 до 31% для ветра более 5 м/с. Абсолютное отклонение для большинства станций составляет 44–50°, несколько больше для станции Находка – 60°; при исключении слабого ветра абсолютная ошибка уменьшается до 22–46°.

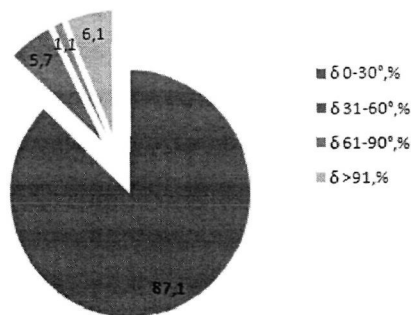


Рис. 2. Диаграмма отклонений модельных значений направления ветра от фактических на 0-30°, 31-60°, 61-90° и >91° (%) для ст. Владивосток с исключением случаев со скоростью ветра 5 м/с и менее

В целом оценки разработанного метода для диагноза направления ветра соизмеримы и в ряде случаев превосходят региональные физико-статистические и синоптические методы.

В **Заключении** сформулированы основные результаты и перспективы исследований.

1. Созданы архивы данных и получены уточненные оценки характеристик ветра по станциям Приморского края:

- рассчитаны климатические характеристики для станций, прежде не вошедших в Справочник по климату, и обновлены для длиннорядных станций для периода 1971–2000 гг.,
- на ряде станций для периода 1976–2006 гг. выявлено ослабление скорости ветра, значимое на уровне 0,05.

2. Проведен анализ влияющих на поле ветра факторов. Для скорости ветра наиболее тесная линейная зависимость отмечается с градиентом геопотенциала или его проекциями на уровне 1000 гПа (парные коэффициенты корреляции R по абсолютному значению достигают 0,5–0,7), следующие по вкладу – градиенты геопотенциала и температуры воздуха на уровне 850 гПа (R от 0,1–0,5). Меньше других скорость ветра зависит от значений относительного геопотенциала, градиента геопотенциала в средней тропосфере и тенденции геопотенциала у земли, при этом, часто связь значима на уровне 0,05. Значимость связи может

возрастать, если использовать влияющие признаки в удаленном от точки расчета узле сетки.

3. Для учета орографических и циркуляционных особенности пункта, предложены оригинальные подходы к разбиению вектора параметров модели на таксоны и использованы удаленные влияющие признаки.
4. Предложены правила и автоматизированные приемы, позволяющие комплексировать регрессионные схемы и тем самым минимизировать ошибки расчетов.
5. Разработана и реализована физико-статистическая модель и представлена технологическая схема для диагноза направления и скорости ветра по пункту со сложной орографией. Параметры модели и техника расчета выбраны с учетом требований и возможностей прогноза суточной заблаговременности. В качестве исходной информации модель усваивает и использует результаты объективного анализа, в перспективе - гидродинамического моделирования (ГДМ), - поля геопотенциала и температуры воздуха нижней и средней тропосферы, представленные в узлах регулярной сетки.
6. Оценки модельных расчетов, полученные на независимом материале, показали успешные результаты. Абсолютная ошибка расчетов скорости ветра составляет 1,3-1,8 м/с, коэффициент корреляции с фактической скоростью ветра равен 0,7, оправдываемость расчетов с допуском ± 5 м/с находится на уровне 98%, а ± 2 м/с – 73%. Абсолютное отклонение направления ветра для большинства станций составляет 44–50°, для станции Владивосток 35°; при исключении слабого ветра ошибка уменьшается до 22–46°. Полученные оценки сопоставимы и, в ряде случаев, превосходят оценки существующих в настоящее время методов прогноза скорости и направления ветра по пункту.

На настоящем этапе развития модели вектор параметров классифицируется по направлению параметра G_{1000} , эксперименты показали преимущество этого подхода для станций со сложным рельефом. Однако, в дальнейшем было бы уместным применять смешанные приемы классификации для станций с большой повторяемостью штгилей или с менее сложным рельефом. Для территории

Приморского края это преимущественно станции Приханкайской низменности. Смешанные приемы классификации – это классификация по направлению барического градиента и знаку LA или по направлению барического градиента и двум-трем градациям его численного значения.

Расширение списка станций для расчета характеристик ветра на территории Приморского края, равно как и других территорий, с помощью предложенного метода и технологии является преимущественно технической задачей.

Список основных публикаций по теме диссертации.

1. Мезенцева Л.И. Расчет скорости ветра по пункту со сложными орографическими эффектами // Метеорология и гидрология. - 2008. -№ 9.- С. 66-77.
2. Sokolov O.V., Mezentseva L.I. Climatic trends in general atmospheric circulation in the second half of the 20th century // PACIFIC Oceanography. - 2004. -Vol. 2, № 1-2. – С. 67-73.
3. Кондратьев И.И., Качур А.Н., Юрченко С.Г., Мезенцева Л.И., Рошупкин Г.Т., Семыкина Г.И. Синоптические и геохимические аспекты аномального выноса пыли на юг Приморского края // Вестник ДВО РАН. – 2005. -№ 3. – С. 55-65.
4. Mezentseva L.I., Sokolov O.V. Change of weather components at the seashore of the Far East as a result of the changes in general circulation of atmosphere // Beyond observations to achieving understanding and forecasting in a changing North Pacific: thesis of report of the North Pacific Marine Science Organization 17th Annual Meeting, oct.24 – nov.2 2008. - Dalian, People's Republic of China. – 2008. С. 9.
5. Мезенцева Л.И. Параметризация ситуаций сильного ветра по станциям Приморского края// Гидрометеорология Дальнего Востока и окраинных морей Тихого океана: Тез. докл. Научно-практической конф. ДВНИГМИ. 1-2 июля 2005. – Владивосток, 2005. – С. 46-47.
6. Мезенцева Л.И. Соколов О.В. Некоторые климатические характеристики скорости ветра по станциям Приморского края за период 1971 – 2000 гг. // Гидрометеорология Дальнего Востока и окраинных морей Тихого океана: Тез. докл. Научно-практической конф. ДВНИГМИ. 1-2 июля 2005. – Владивосток, 2005. – С. 46-47.
7. Соколов О.В., Мезенцева Л.И. Климатические тренды параметров общей циркуляции атмосферы в южном полушарии во второй половине XX века // Проблемы Арктики и Антарктики / ААНИИ. - 2007. -№ 76. - С. 24-35.



Лицензия ЛР № 02080832 от 15 октября 1999 года

Формат 60x88/16

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ № 881

Отпечатано в ООО "ФЭД+", Москва, ул. Кедрова, д. 15, тел. 774-26-96