

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

Российский государственный гидрометеорологический  
университет

Е. С. Андреева

# ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ ЮГА РОССИИ

Санкт-Петербург



ВВМ

2006

551.5

A

551.515.9

551.582(с16)

551.569.329

УДК 574 (07)

ББК 26.84

A65

Рецензент:

доктор геогр. наук, профессор Ю. А. Федоров

опасные явления погоды

Андреева Е. С.

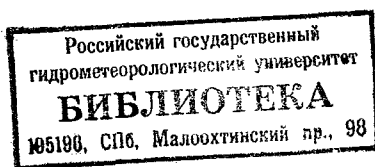
A65 Опасные явления погоды юга России / Под. ред. Карлина Л. Н. —  
СПб.: РГГМУ, ВВМ, 2006. — 216 с., 44 ил., 20 табл.

ISBN 5-9651-0229-1

Монография посвящена исследованию опасных явлений погоды, представляющих собой следствие разрешения атмосферной неустойчивости. Физический процесс их возникновения имеет стохастический характер, поэтому данные явления погоды были исследованы как случайный процесс с присущей ему стационарностью и эргодичностью.

В XXI в. ведущей познавательной моделью является диатропическая, отличающаяся разнообразием подходов, фундаментальную роль в которых играет случайность без единой сущности и единого взгляда на нее. В связи с этим, изучение генезиса опасных явлений погоды с позиции физико-математических методов с построением соответствующих моделей представляется своего рода примером указанного диатропического подхода.

Монография предназначена для специалистов в области гидрометеорологии, географии и других естественнонаучных отраслей знаний.



ББК 26.82

ISBN 5-9651-0229-1

© Е. С. Андреева, 2006

© РГГМУ, 2006

© Издательство «ВВМ», 2006

551.582

MINISTRY OF EDUCATION and SCIENCE OF THE RUSSIAN

FEDERATION FEDERAL AGENCY FOR EDUCATION

Russian State University of Hydrometeorology

E. S. Andreeva

# DANGEROUS WEATHER PHENOMENA OF SOUTH OF RUSSIA

St. Petersburg



WM.com.Ltd Publishing

2006

УДК 574 (07)  
ББК 26.84  
А65

**Reviewer:**

Doctor of science in geography, Professor *Yu. A. Fedorov*

**Andreeva E. S.**

A65      Dangerous weather phenomena of south of Russia / Ed. by Prof. Karlin L. N. — SPb.: Russian State University of Hydrometeorology, VVM.com.Ltd Publishing, 2006. — Page 216, 44 pic., 20 table.

ISBN 5-9651-0229-1

The monograph is dedicated to study of dangerous weather phenomena representing a consequence of settlement of atmospheric instability. The physical process of their origin has stochastic nature, therefore these weather phenomena were studied as stochastic process with its inherent stationarity, and ergodicity.

In XXI century the leading cognitive model is diathropic one, which is distinguished by diversification of approaches, where fundamental role is played by contingency without a single nature and view at it. In this connection, the analysis of genesis of dangerous weather phenomena from a position of physical and mathematical methods with making of the correspondent models represents some kind of an example of the said diathropic approach.

The monograph is intended for the specialists in the field of hydrometeorology, geography and other spheres of knowledge of natural sciences.

ББК 26.82

ISBN 5-9651-0229-1

© E. S. Andreeva, 2006

© RSUHM, 2006

© VVM.com.Ltd Publishing, 2006

---

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                           |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                            | 11        |
| <b>Раздел 1. ТЕРМИНОЛОГИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ<br/>ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ .....</b> | <b>14</b> |
| 1. Генезис и физические условия возникновения опасных явлений<br>погоды .....             | 14        |
| 1.1. Понятие и терминология опасных явлений погоды .....                                  | 14        |
| 1.2. Природные факторы .....                                                              | 15        |
| 1.2.1. Аэрологические особенности основных метеозлементов<br>на разных высотах .....      | 16        |
| 1.2.2. Тенденции изменения основных метеозлементов<br>в основные сроки наблюдений .....   | 25        |
| 1.2.3. Расчет и анализ значений чисел Ричардсона .....                                    | 29        |
| 1.3. Классификация и реализация в естественных условиях .....                             | 33        |
| 1.3.1. Конвективные явления .....                                                         | 37        |
| 1.3.2. Бароградиентные явления .....                                                      | 40        |
| 1.3.3. Новороссийская бора .....                                                          | 42        |
| 2. Циркуляция атмосферы как основной определяющий фактор<br>опасных явлений погоды .....  | 43        |
| 2.1. Динамика состояний атмосферы и процессов, протекающих в<br>нижней ее части .....     | 43        |
| 2.2. Возмущения атмосферной циркуляции и следствия их<br>проявлений .....                 | 46        |
| 2.2.1. Астрономические факторы .....                                                      | 48        |
| 2.2.2. Геофизические факторы .....                                                        | 55        |
| Угловой момент вращения .....                                                             | 57        |
| Общий угловой момент вращения и длина дня .....                                           | 57        |
| Обмен угловым моментом между тропиками<br>и средними широтами .....                       | 58        |
| 2.3. Методы исследований параметров атмосферной циркуляции .....                          | 61        |
| 2.3.1. Индексы А. А. Каца .....                                                           | 61        |
| 2.3.2. Типизация Г. Я. Вангенгейма .....                                                  | 62        |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. Теория случайных процессов и ее применение для исследования хронологических рядов опасных явлений погоды ..... | 65 |
| 3.1. Обзор методов математической статистики для изучения хронологических рядов .....                             | 65 |
| 3.2. Ряды опасных явлений погоды как колебательная система .....                                                  | 68 |
| 3.2.1. Анализ однородности, стационарности абсолютных вероятностей и марковости рядов .....                       | 69 |
| 3.2.2. Неслучайность колебаний в рядах с использованием критериев систематического ряда .....                     | 72 |
| 3.2.3. Автокорреляционные функции .....                                                                           | 77 |
| 3.2.4. Цикличность рядов как естественное свойство колебательной системы .....                                    | 78 |
| 3.3. Подходы к управлению рисками опасных явлений погоды .....                                                    | 79 |
| 4. Вероятностное математическое прогнозирование опасных явлений погоды .....                                      | 83 |
| 4.1. Метод расчета условной вероятности аномалий (метод Байеса) .....                                             | 83 |
| 4.2. Метод минимизации риска .....                                                                                | 84 |
| 4.3. Нейрокомпьютерное моделирование .....                                                                        | 87 |

## **Раздел II. ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ РАВНИН ЮГА РОССИИ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ .....**

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. Физико-географические условия равнин юга России .....                                         | 89  |
| 5.1. Геология и рельеф .....                                                                     | 89  |
| 5.2. Климатообразующие факторы и климат .....                                                    | 96  |
| 5.2.1. Приход и расход солнечной радиации .....                                                  | 96  |
| 5.2.2. Особенности местной циркуляции атмосферы .....                                            | 98  |
| 5.2.3. Подстилающая поверхность .....                                                            | 103 |
| 5.2.4. Климатическое районирование юга России .....                                              | 105 |
| 5.3. Гидрография и растительность .....                                                          | 119 |
| 6. Особенности циркуляции атмосферы в пределах южных равнин России .....                         | 122 |
| 6.1. Среднегодовое или нормальное (фоновое) циркуляция атмосферы .....                           | 122 |
| 6.2. Аномалии циркуляции и их проявления .....                                                   | 134 |
| 6.3. Тенденции изменения интенсивности циркуляции во временном отношении .....                   | 144 |
| 7. Особенности хронологических рядов опасных явлений юга России .....                            | 146 |
| 7.1. Статистические закономерности рядов и обзор исходной информации .....                       | 146 |
| 7.2. Критерии Аббе и определение случайности колебаний .....                                     | 153 |
| 7.3. Районирование равнин юга России по распределению повторяемости опасных явлений погоды ..... | 159 |
| 8. Апробация методов математической статистики для прогнозирования опасных явлений погоды .....  | 163 |

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. Расчет условной вероятности и минимизация риска опасных явлений погоды .....                           | 163 |
| 8.2. Моделирование опасности метеоситуации при помощи нейросетей .....                                      | 167 |
| 8.3. Аппроксимация конечных цепей Маркова для прогноза опасных явлений погоды .....                         | 173 |
| 9. Расчеты нагрузок, возникающих при ОЯ, и перспективы дальнейшего хозяйственного развития юга России ..... | 175 |
| 9.1. Расчет отдельных видов нагрузок, обусловленных метеорологическими элементами .....                     | 175 |
| Классификация нагрузок .....                                                                                | 176 |
| Методика расчетов отдельных видов нагрузок, обусловленных метеорологическими элементами .....               | 176 |
| Полученные результаты .....                                                                                 | 184 |
| 9.2. Управленческие решения при возникновении опасных явлений погоды .....                                  | 187 |
| Принципы управления риском и обеспечение безопасного развития социальной системы [115] .....                | 189 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....                                                                                            | 191 |
| ЛИТЕРАТУРА .....                                                                                            | 211 |

---

---

---

## CONTENTS

|                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| INTRODUCTION.....                                                                                    | 11        |
| <b>Section I. TERMS AND METHODS TO STUDY DANGEROUS WEATHER<br/>PHENOMENA.....</b>                    | <b>14</b> |
| 1. Genesis and physical conditions for occurrence of dangerous weather<br>phenomena .....            | 14        |
| 1.1. Concept and terminology of dangerous weather phenomena .....                                    | 14        |
| 1.2. Natural factors .....                                                                           | 15        |
| 1.2.1. Aerologic features of the basic meteorological elements<br>at different altitudes .....       | 16        |
| 1.2.2. Trends of changes of basic meteorological elements<br>in the basic terms of observation ..... | 25        |
| 1.2.3. Calculation and the analysis of Richardson numbers.....                                       | 29        |
| 1.3. Classification and realization in natural conditions .....                                      | 33        |
| 1.3.1. The convective phenomena.....                                                                 | 37        |
| 1.3.2. The barogradient phenomena.....                                                               | 40        |
| 1.3.3. Novorossisk bora .....                                                                        | 42        |
| 2. Atmospheric circulation as the basic determining factor of dangerous<br>weather phenomena .....   | 43        |
| 2.1. Dynamics of the states of the atmosphere and processes taking place<br>in its lower part.....   | 43        |
| 2.2. Atmospheric circulation disturbances and their consequences<br>displays.....                    | 46        |
| 2.2.1. Astronomic factors.....                                                                       | 48        |
| 2.2.2. Geophysical factors .....                                                                     | 55        |
| Angular torque.....                                                                                  | 57        |
| General angular torque and day light duration.....                                                   | 57        |
| The tropics-middle attitudes angular momentum<br>exchange.....                                       | 58        |
| 2.3. Methods to study the atmospheric circulation parameters.....                                    | 61        |
| 2.3.1. A. A. Katz indexes .....                                                                      | 61        |
| 2.3.2. G. J. Vangengejm typifying.....                                                               | 62        |

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3. Theory of random processes and its application to study chronological rows of dangerous weather phenomena ..... | 65 |
| 3.1. Review of the methods of mathematical statistics for studying chronological rows .....                        | 65 |
| 3.2. Series of dangerous weather phenomena as an oscillating system .....                                          | 68 |
| 3.2.1. The analysis of homogeneity, state of absolute probabilities and Markov chains .....                        | 69 |
| 3.2.2. Non-randomness of row oscillations with the use of the systematic row criteria .....                        | 72 |
| 3.2.3. The autocorrelation functions .....                                                                         | 77 |
| 3.2.4. Row cyclicity as a natural feature of oscillatory system .....                                              | 78 |
| 3.3. Approaches to risks control of dangerous weather phenomena .....                                              | 79 |
| 4. Probabilistic mathematical forecast of dangerous weather phenomena .....                                        | 83 |
| 4.1. Calculation of conditional probability of anomalies (Bayes method).....                                       | 83 |
| 4.2. Method of risk minimization .....                                                                             | 84 |
| 4.3. Neurocomputer modelling.....                                                                                  | 87 |

## Section II. DANGEROUS WEATHER PHENOMENA OF SOUTH OF RUSSIA PLAINS AND THEIR FORECAST .....

|                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5. Physiogeographic conditions of South of Russia plains.....                                             | 89  |
| 5.1. Geology and relief.....                                                                              | 89  |
| 5.2. The climate forming factors and a climate .....                                                      | 96  |
| 5.2.1. The incoming and expenditure of solar radiation.....                                               | 96  |
| 5.2.2. Specific features of atmospheric local circulation .....                                           | 98  |
| 5.2.3. The underlying surface .....                                                                       | 103 |
| 5.2.4. The climatic regioning of South of Russia.....                                                     | 105 |
| 5.3. Hydrography and vegetation .....                                                                     | 119 |
| 6. Features of circulation of an atmosphere within the southern plains of Russia.....                     | 122 |
| 6.1. The average many-year or normal (background) atmospheric circulation.....                            | 122 |
| 6.2. Circulation anomalies and their manifestation .....                                                  | 134 |
| 6.3. Trends of the circulation intensity temporal changes .....                                           | 144 |
| 7. Specific features of chronological rows of dangerous phenomena in the South of Russia.....             | 146 |
| 7.1. Statistical laws of the rows and the review of initial information .....                             | 146 |
| 7.2. Abbe criteria and determination of accident of oscillation randomness.....                           | 153 |
| 7.3. Regioning of the South Russia plains by distributing dangerous weather phenomena repeatability ..... | 159 |
| 8. Appropriation of the mathematical statistics technics to forecast dangerous weather phenomena.....     | 163 |

|                                                                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1. Calculation of the conditional probability and minimization of dangerous weather phenomena risks.....                                  | 163 |
| 8.2. Modelling the dangerous of meteorological situation with the use of neuro networks.....                                                | 167 |
| 8.3. Approximation of final Markov chains to forecast dangerous weather phenomena.....                                                      | 173 |
| 9. Calculations of loads occurring with dangerous natural phenomena and prospects for further economic development of South of Russia ..... | 175 |
| 9.1. Calculation of some kinds of loads determined by meteorological elements.....                                                          | 175 |
| Classification of loads.....                                                                                                                | 176 |
| Calculations technics of some kinds of loads, determined by meteorological elements .....                                                   | 176 |
| The results obtained .....                                                                                                                  | 184 |
| 9.2 Principles of risk control and provision of the safe development of the social system .....                                             | 187 |
| Principles of risk control and maintenance of safe development of social system [115] .....                                                 | 189 |
| CONCLUSION.....                                                                                                                             | 191 |
| BIBLIOGRAPHY .....                                                                                                                          | 211 |

---

---

## ВВЕДЕНИЕ

Исследования явлений природы, отличающихся той или иной частотой или так называемой вероятностью, отличаются разнообразием подходов и возникли достаточно давно.

Так, по Аристотелю существует случайная необходимость — реализация некоторого вполне определенного (неслучайного) правила. Однако указанное правило может быть как осуществлено в данном объекте, так и не осуществлено, и в этом состоит случайность, т. е. каждая реализация приводит только к своему необходимому итогу [1].

С другой стороны, неопределенность является в какой-то степени основным свойством окружающей действительности и, в частности, присуща природе. Возможно источник неопределенности имеет квантовый характер (например, хаотическое движение атомов способно порождать неопределенность). Уменьшение неопределенности таким образом приводит к вероятностям или определяемым частотам, хотя полное ее снятие, очевидно, маловероятно. Исходя из этого можно выделить два вида случайностей:

- устойчивые, возникающие в системах с определяемыми вероятностями (т. е. вероятность представляет собой сочетание частот или их меру);
- неустойчивые, возникающие в системах с неопределяемыми вероятностями (в этом случае вероятность — тенденция).

Так, по Лексису, последовательность случайных величин называется неустойчивой, если в ней относительные дисперсии не стремятся к конечному пределу. В природе достаточно примеров такого рода процессов с неустойчивыми частотами: так называемые «ветвящиеся процессы» — процессы рождения и гибели организмов.

Поэтому для изучения явлений окружающей действительности важно выяснить, какая случайность их описывает, поскольку методы математической вероятности могут быть применимы в случае определяемых вероятностей.

В рамках данного исследования будем считать, что явления погоды и, в частности, их предельные проявления — опасные явления погоды, отличаются квазиустойчивыми частотами. Физический процесс их возникновения имеет стохастический характер, т. е. отличается случайной составляющей. И, следовательно, для определения частот данных явлений можно использовать теорию вероятностей и методы математической статистики.

Кроме того, атмосфера как система, в которой появляются опасные явления погоды, отличается динамическим движением. Для его описания будем использовать теорию динамического хаоса, которую можно резюмировать следующим образом: «Чем движение неустойчивее, тем устойчивее проявляются в нем статистические закономерности». С другой стороны, движение в сложных системах, несомненно, порождает перемешивание, представленное в теории вероятностей эргодичностью — весьма полезным для целей прогнозирования свойством и, в частности, в случае марковских цепей. Возникающее при движении на странных аттракторах перемешивание весьма полезно в том смысле, что оно приводит к «расщеплению» корреляции, т. е. к постепенному увеличению независимости между определенными параметрами системы, поскольку, если исходить из третьего эффекта Шноля, «независимых ни от чего событий не бывает» в рамках космофизических обстоятельств [2].

Исходя из вышеизложенного, очевидно, что в XXI в. ведущей познавательной моделью *a priori* является *диатропическая*, т. е. отличающаяся разнообразием подходов, фундаментальную роль в которых играет случайность без единой сущности и единого взгляда на нее. Поскольку абсолютно правильных решений обычно не существует, это и обуславливает, в свою очередь, принцип разнообразия. Инструментом, подходящим для описания такого рода моделей, является современная теория фракталов.

В этом отношении изучение генезиса опасных явлений погоды с позиции физико-математических методов с построением соответствующих моделей представляется своего рода примером диатропического подхода и составляет *цель* данного исследования.

Автор выражает глубокую признательность ректору РГГМУ, доктору физико-математических наук, профессору Л. Н. Карлину за помощь и научную консультацию при работе над монографией.

Автор благодарен за советы и помощь д-ру геогр. наук, профессору К. В. Кондратовичу, д-ру физ.-мат. наук, профессору А. А. Музалевскому, д-ру физ.-мат. наук., профессору Н. С. Киму, специалисту СК УГМС П. Г. Вовченко, чьи идеи и замыслы автор старался применять в написании работы. Искренне признателен сотрудникам РГУ канд. геогр. наук, доценту Т. А. Смагиной, канд. геогр. наук, доценту В. С. Кутилину, канд. геол.-минерал. наук, доценту С. Я. Черноусову, сотрудникам РГГМУ канд. физ.-мат. наук Л. А. Куликовой и канд. физ.-мат. наук К. Л. Егорову, аспирантам СпбТУ И. С. Андрееву и С. В. Андреевой за поддержку и помощь при применении методов математической статистики и моделирования.

---

---

## **Раздел I**

# **ТЕРМИНОЛОГИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ОПАСНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ**

### **1. Генезис и физические условия возникновения опасных явлений погоды**

#### **1.1. Понятие и терминология опасных явлений погоды**

Метеорологическое явление считается опасным (ОЯ), если по своей интенсивности, продолжительности или охватываемой им территории превышает установленные критические пределы, определенные соответствующими Руководящими Документами Росгидромета [3].

Под критериями опасных явлений понимают установленные для определенного региона предельные значения гидрометеорологических величин либо качественные их характеристики [4–9].

Критерии данных явлений содержатся в следующих научных источниках [10]:

- наставления гидрометеорологическим станциям;
- инструкция гидрометеорологическим станциям по информации об опасных гидрометеорологических явлениях;
- положение о сборе сведений и порядке предупреждений об ОЯ;
- руководящие документы.

К рассматриваемым опасным явлениям равнин юга России применялись критерии, принятые и используемые в Северо-Кавказском Территориальном Управлении по Гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Среди рассматриваемых *опасных явлений погоды*:

- *сильные ветры* — приземный ветер со скоростью более 15 м/с;
- *метели* — комплексное гидрометеорологическое явление, сопровождающееся скоростью ветра не менее 15 м/с, при суточной продолжительности и метеорологической дальности видимости менее 500 м;
- *сильные дожди* — обильные осадки с интенсивностью более 30 мм за сутки;
- *град* — атмосферные твердые осадки при диаметре отложений от 5 до 20 мм;
- *шквалы* — горизонтальные вихри при скорости потока более 15 м/с;
- *гололедно-изморозевые явления* — отложения воды и льда на горизонтальной или вертикальной поверхностях при диаметре не менее 20 мм (гололед), не менее 50 мм (изморозь).

Под климатическими рисками будем понимать статистические вероятности наступления тех или иных опасных (согласно РД Росгидромета) явлений погоды, рассматриваемых за период времени не менее 30 лет. При этом разнообразие данных явлений, обусловленных изменениями атмосферной циркуляции, определяет соответствующие виды климатических рисков. Например, активизация циклонической деятельности и, как следствие, увеличение приземных барических градиентов способствует повышению риска возникновения сильных и ураганных ветров.

## 1.2. Природные факторы

Опасные явления погоды с точки зрения физической сущности своего возникновения представляют собой эффект разрешения термодинамической неустойчивости. В этом смысле основными агентами, передающими данный эффект, являются следующие метеозлементы: температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ), влажность (удельная, г/кг), влияние которых важно рассмотреть на разных высотах, так как термодинамическая неустойчивость имеет различные тенденции развития на отдельных высотах: 1000 гПа; 850 гПа; 700 гПа. Вклад скорости воздушного потока, вносящего коррективы в формирование зон неустойчивости в нижней части тропосферы, будем учитывать при расчете чисел Ричардсона. Для этого удобно исполь-

зовать аэроклиматические данные, представляющие собой статистические сведения о верхних слоях атмосферы Земли, полученные в следующие сроки: 00 ч; 06 ч; 12 ч; 18 ч на аэрологических станциях: ст. Ростов-на-Дону, ст. Туапсе, ст. Волгоград, ст. Минеральные Воды [11].

#### 1.2.1. Аэрологические особенности основных метеэлементов на разных высотах

Тенденции *давления* над свободной атмосферой. Отрог сибирского антициклона, располагающийся зимой у поверхности земли, с высотой ослабевает и переходит в высотную ложбину. Так, например, в январе на высоте 0,5 км над территорией Нижнего Поволжья, Северного Кавказа, Ростовской области и Донбасса располагается гребень высокого давления, а над большей частью Украины наблюдается барическая ложбина; на уровне

1 км ложбина охватывает всю Украину, а с высоты 1,5 км — весь район. Разность давления в ложбине с высотой возрастает. В летний сезон барические градиенты сравнительно малы, и в нижнем слое тропосферы над территорией района практически наблюдается безградиентное поле. В средней тропосфере изобары имеют направление, близкое к широтному, причем градиент направлен с юга на север. Так, например, среднее месячное давление в июле на высоте 5 км над Волгоградом равно 550–551 гПа, над Туапсе и Минеральными Водами — 554 гПа. В слое тропопаузы контраст давления достигает максимальной величины. Так, на высоте 12 км над указанными выше пунктами среднее месячное давление в июле равно соответственно 206–207 и 211–212 гПа. В нижней стратосфере разность давления уменьшается и на уровнях, превышающих 17–18 км, горизонтальный барический градиент практически равен нулю. Например, на высоте 22 км среднее месячное давление в июле над всем районом равно 46 гПа.

*Ветер* в свободной атмосфере. По характеру ветра в нижних слоях тропосферы данный район можно подразделить на две части: северо-западную и юго-восточную. Ветрораздел проходит примерно по линии Ростов-на-Дону—Волгоград. Зимой севернее этой линии преобладает западный и северо-западный перенос, причем здесь наблюдаются наиболее сильные ветры. Южнее этой линии, наряду с западными, часто наблюдаются также юго-западные ветры; скоро-

сти ветра здесь меньшие. Например, средняя скорость ветра в январе на высоте 1, 5 км над северо-западной частью района составляет 9–10 м/с, а над юго-восточной частью — 6–8 м/с; на высоте 5 км скорость ветра соответственно равна 14–15 и 10–11 м/с. Летом над северо-западной частью района в тропосфере преобладают западные и северо-западные ветры, а с высоты 10–12 км — западные и юго-западные. Над юго-восточной частью района наблюдается своеобразный режим ветра в тропосфере. В нижнем слое (до 1–2 км) кроме западных и северо-западных, почти с такой же повторяемостью встречаются ветры восточные и северо-восточные, в средней и верхней тропосфере преобладают западные и юго-западные ветры. Скорость ветра в нижней части над всем районом почти одинакова (рис. 1). Например, в июле на высоте 1, 5 км средняя месячная скорость ветра над всеми пунктами колеблется в пределах 6–7 м/с и лишь в районе Владикавказа составляет 3 м/с. С высотой скорость ветра возрастает и достигает максимума около слоя тропопаузы. Наиболее сильные ветры в этом слое наблюдаются над Северным Кавказом. Например, на высоте 10 км средняя скорость ветра в июле над Северным Кавказом равна 18–20 м/с, а над остальной частью района колеблется в пределах 10–16 м/с.

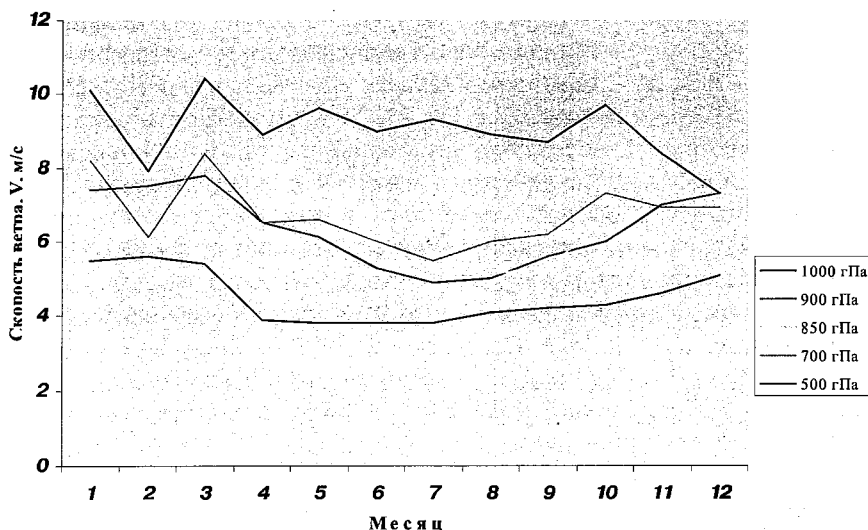


Рис. 1. Среднегодовой ход скорости ветра, м/с, на разных высотах, ст. Туапсе, 1961–1970 гг.

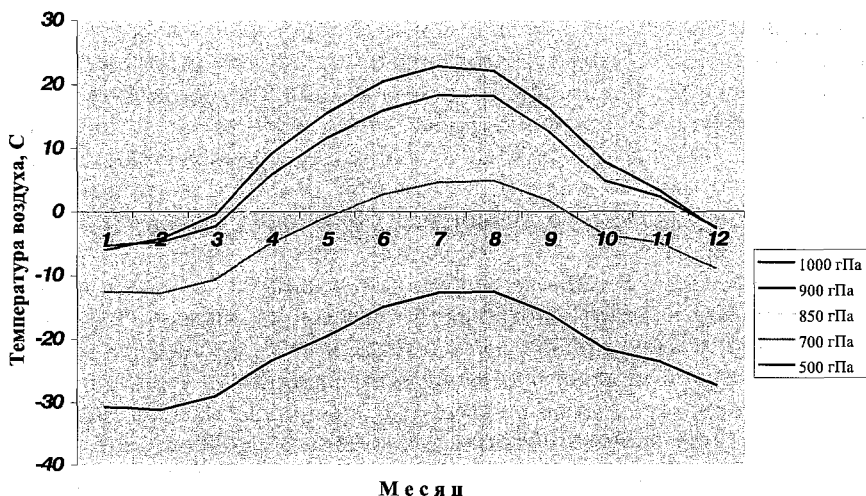
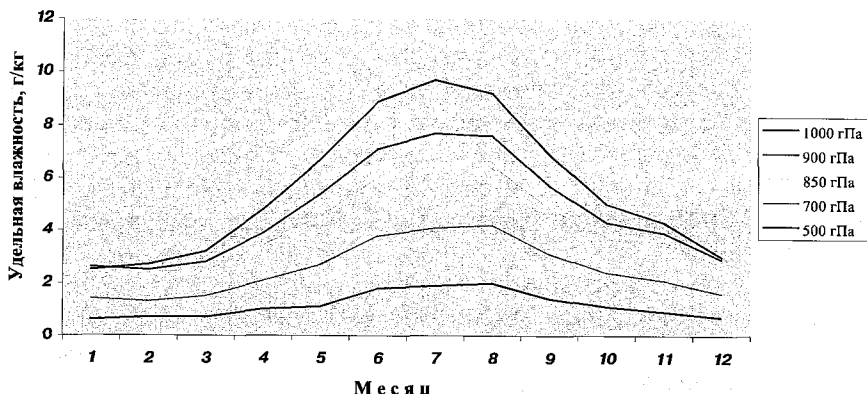


Рис. 2. Среднегодовой ход температуры воздуха, °C, на разных высотах, ст. Ростов-на-Дону, 1961—1970 гг.

*Температура.* Для тропосферы наиболее характерным является убывание температуры с высотой (рис. 2). Однако нередко имеют место температурные инверсии, которые особенно интенсивными наблюдаются зимой в нижнем слое тропосферы над северо-восточной частью района. Например, в январе над Волгоградом средняя месячная температура возрастает от  $-10^{\circ}\text{C}$  у поверхности земли до  $-7^{\circ}\text{C}$  на высоте 1 км, вследствие чего наиболее низкие температуры из района Волгограда смещаются с высотой в район Харькова. Зимой изотермы в тропосфере, так же как и у поверхности земли, имеют общее направление с северо-запада на юго-восток, причем с высотой контраст температур по горизонтали уменьшается. Так, в январе на высоте 1 км средняя месячная температура изменяется с запада на восток от  $-3^{\circ}\text{C}$  над Ростовом до  $-7^{\circ}\text{C}$  над Волгоградом и с севера на юг — от  $8^{\circ}\text{C}$  над Волгоградом до  $0^{\circ}\text{C}$  над Туапсе, а на высоте 5 км наибольший контраст температур составляет лишь  $2,5^{\circ}\text{C}$ . Летом для тропосферы характерно почти широтное направление изотерм. Горизонтальный температурный градиент направлен с юга на север. Разность между средними месячными температурами станций, расположенных на крайнем севере и крайнем юге района, не превосходит  $4\text{--}5^{\circ}\text{C}$ . Например, средняя температура в июле

на высоте 5 км над Туапсе и Минеральными Водами около  $-4^{\circ}\text{C}$ . В слое колебания уровня тропопавзы (10–15 км) летом происходит изменение в направлении горизонтального градиента температуры. На уровне 10–12 км высокие температуры смещаются на юго-восток, а низкие — на северо-запад, причем разность температур резко увеличивается. Так, в июле на высоте 12 км средняя месячная температура над Волгоградом составляет около  $-50^{\circ}\text{C}$  и по мере продвижения к юго-востоку повышается до значения около  $-39^{\circ}\text{C}$  над Минеральными Водами. На высоте 14 км очаг тепла перемещается на север, контраст температуры уменьшается. На высоте 16 км изотермы принимают широтное направление, причем горизонтальный температурный градиент направлен с севера на юг. В июле на этом уровне над Киевом и Харьковом средняя месячная температура составляет над Туапсе и Минеральными Водами — около  $-53^{\circ}\text{C}$ ,  $-54^{\circ}\text{C}$ . Годовая амплитуда температуры в нижнем слое (3 км) над большей частью этого района убывает с высотой, в слое 3–7 км возрастает. На высотах 8–13 км, в силу различия в вертикальном распределении температуры зимой и летом, амплитуда годовых колебаний уменьшается, а выше этого уровня начинает вторично возрастать. У поверхности земли годовая амплитуда температуры по средним месячным значениям возрастает в направлении с запада и юго-запада на северо-восток от значений  $20^{\circ}\text{C}$  в Туапсе и до  $32^{\circ}\text{C}$  в Волгограде. С высотой область наибольших амплитуд смещается на юго-восток, так что на уровне 3 км значение амплитуды увеличивается от  $15^{\circ}\text{C}$  над Волгоградом до  $20^{\circ}\text{C}$  над Туапсе, а на уровне 10 км — от  $14^{\circ}\text{C}$  над Волгоградом до  $23^{\circ}\text{C}$  над Минеральными Водами.

*Тропопауза.* Средняя высота и температура нижней границы тропопавзы имеет отчетливо выраженный годовой ход. Наиболее низкая и холодная тропопавза наблюдается в зимние месяцы, наиболее высокая и теплая — в летние. Наибольшие высоты отмечаются дважды: в августе—сентябре и в июне, наименьшие — в январе—феврале. Зимой нижняя граница тропопавзы располагается более или менее равномерно над территорией района как по высоте (в среднем 9–10 км), так и по температуре (в среднем  $-55^{\circ}\text{C}$ ,  $-56^{\circ}\text{C}$ ). В летние месяцы ее высота составляет в среднем около 11 км с температурой около  $-45^{\circ}\text{C}$ ,  $-50^{\circ}\text{C}$ . Высота нижней границы тропопавзы в преобладающем числе случаев колеблется в пределах 6–13 км зимой и 8–15 км летом.



**Рис. 3.** Среднегодовой ход удельной влажности воздуха, г/кг, на разных высотах, ст. Ростов-на-Дону, 1961–1970 гг.

*Влажность.* Удельная и относительная влажность в среднем убывает с высотой (над всем районом). Наибольшие значения удельной влажности на всех уровнях наблюдаются летом, наименьшие — зимой (рис. 3). Обратный ход имеет относительная влажность. Исключение составляет северо-восточное побережье Черного моря (Туапсе), где теплый воздух летом насыщен водяными парами, поэтому относительная влажность в нижнем слое тропосферы достигает в этот период больших значений. В течение года наиболее высокая относительная влажность во всем слое тропосферы наблюдается над северо-западной частью района, наиболее подверженной воздействию Атлантического океана. Наиболее низкая относительная влажность на всех уровнях тропосферы (за исключением нижней ее части в зимний сезон) наблюдается над Ростовской областью и Нижним Поволжьем. Преобладающие в средней тропосфере над территорией Северного Кавказа западные и юго-западные ветры приносят сюда воздушные массы со сравнительно высокой влажностью (рис. 4).

*Облачность.* Нижняя граница облаков нижнего и среднего ярусов летом, как правило, располагается выше, чем зимой. Следует, однако, отметить, что эта общая закономерность на некоторых станциях не соблюдается (из-за недостаточности данных). Наиболее низкие облака St зимой располагаются примерно на одной высоте над всей территорией района. Лишь на Крымском и Кавказском по-

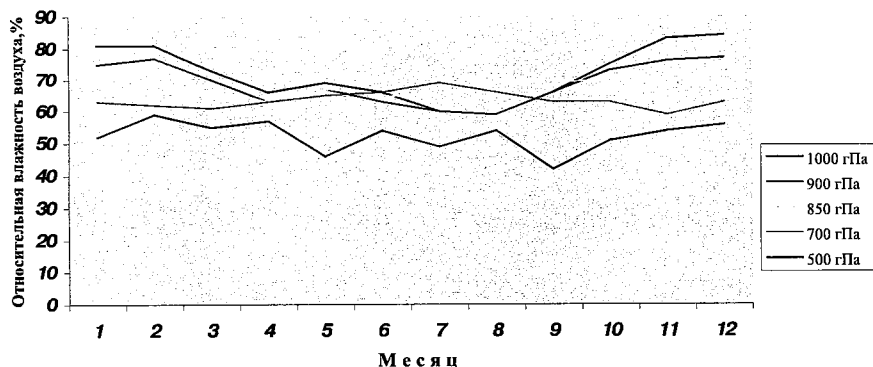
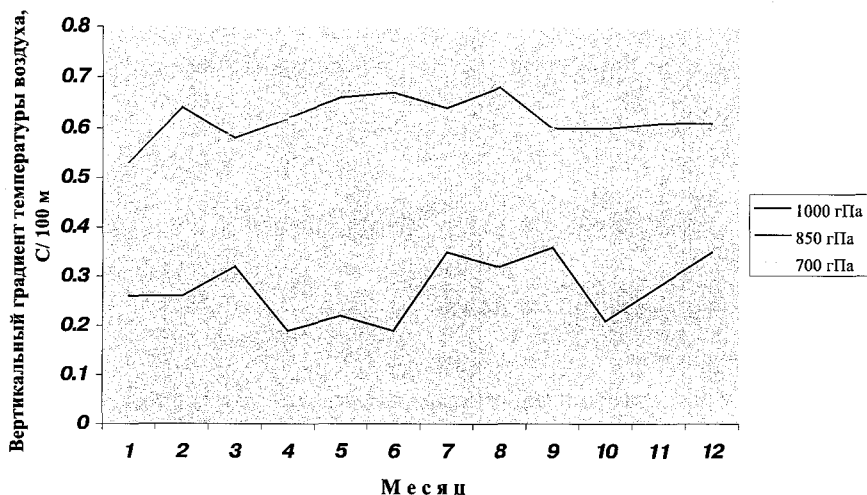


Рис. 4. Среднегодовой ход относительной влажности воздуха, %, на разных высотах, ст. Минеральные Воды, 1961–1970 гг.

бережье Черного моря заметно выше, чем на остальной части территории. Например, в январе средняя высота  $St$  на всех пунктах колеблется в пределах 0,2–0,3 км, а в Геленджике она составляет соответственно 0,46, 0,42 и 0,57 км. Наиболее высокие облака нижнего яруса  $Sc$  в зимние месяцы располагаются на значительно большей высоте на юге территории района, чем на севере. Так, в январе средняя высота этих облаков на Северном Кавказе составляет 1 км и более, а в Ростовской области и в Нижнем Поволжье она равна 0,7–0,8 км. Летом  $Sc$  располагаются примерно на одной высоте на всей территории района, но в полосе наименьших значений влажности — Причерноморской степи, Ростовской области и Нижнем Поволжье — они лежат несколько выше, чем на остальной территории. Так, например, средняя высота  $Sc$  в июле на большей части территории района составляет преимущественно 1,3–1,5 км, а в Ростове-на-Дону и Волгограде она равна 1,6–1,7 км. Облака вертикального развития  $Cu$ ,  $Cb$  наблюдаются почти исключительно в летний сезон. Нижняя граница облаков среднего яруса  $As$ ,  $Ac$  располагается над территорией района чаще всего на высотах 2,5–3,5 км.

*Вертикальный температурный градиент, °C/100 м.* Значения вертикального градиента температуры изменяются в разные сроки от отрицательных (в холодный период) до положительных величин. Однако, для ст. Туапсе характерно в течение года преобладание положительных величин градиента, что, можно связать с высокими значениями температуры и влагонасыщенности воздуха. Неустойчи-



**Рис. 5.** Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 18 ч 00 мин мск, ст. Туапсе, 1961—1970 гг.

вый график внутригодового изменения градиента температуры на данной станции это подтверждает (рис. 5).

В среднем общей тенденцией для всех изученных сроков наблюдений является закономерное увеличение значений от холодного к теплому периоду. Однако для ночных наблюдений (00 ч 00 мин мск) максимальные значения на высоте 1000 гПа зафиксированы на ст. Ростов и Минеральные Воды в марте (для обеих) и ноябре (для Ростова), августе—сентябре (для Минеральных Вод). На ст. Волгоград максимальные значения наблюдались в течение всего теплого периода (с марта по октябрь).

Интересно, что для ст. Туапсе на высоте 1000 гПа в апреле и октябре соответственно наблюдаются минимальные значения градиента, значительно повышаясь к декабрю. Вероятно, указанное выше обстоятельство позволяет относить данную станцию к океаническому типу, а ст. Волгоград, к континентальному. Ст. Минеральные Воды и Ростов, очевидно, не отличаются выраженным континентальным типом, но, скорее всего, к нему относятся (рис. 6, 7, 8, 9).

Для вечерних наблюдений (18 ч 00 мин мск) характерны большие значения на высотах 850 гПа и 700 гПа, графики для поверхности 1000 гПа не отличаются стабильным ходом градиента, в особен-

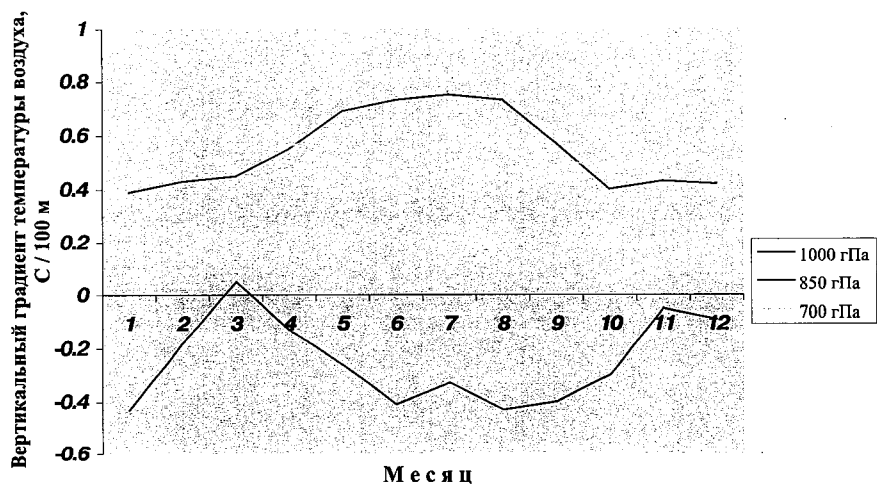


Рис. 6. Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 00 ч 00 мин мск, ст. Ростов-на-Дону, 1961—1970 гг.

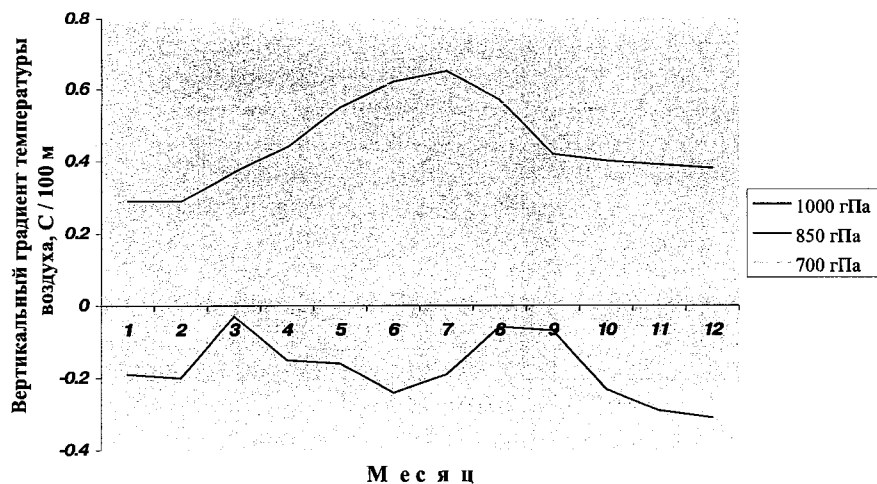


Рис. 7. Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 00 ч 00 мин мск, ст. Минеральные Воды, 1961—1970 гг.

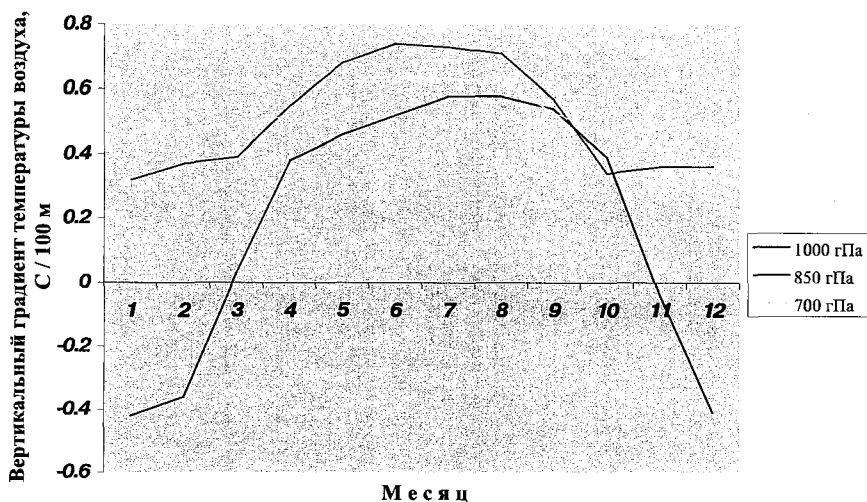


Рис. 8. Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 00 ч 00 мин мск, ст. Волгоград, 1961—1970 гг.

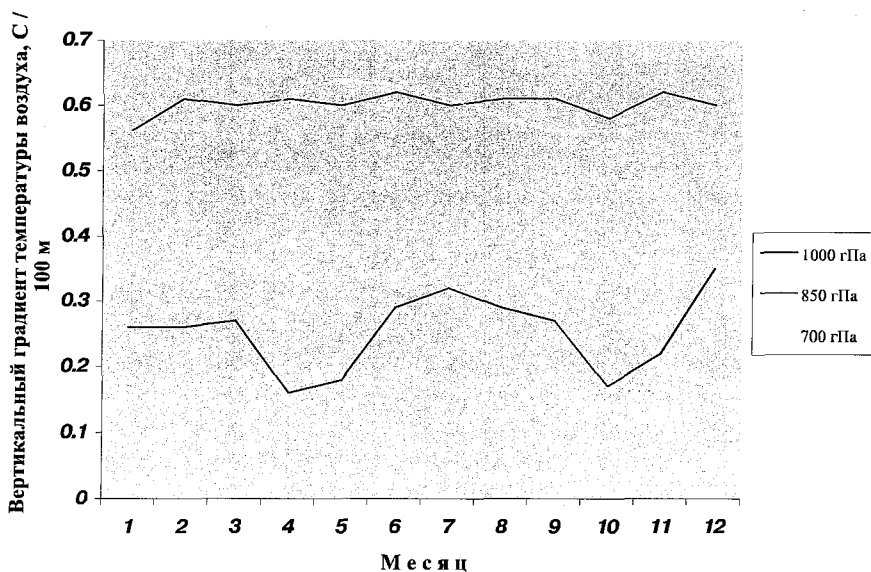
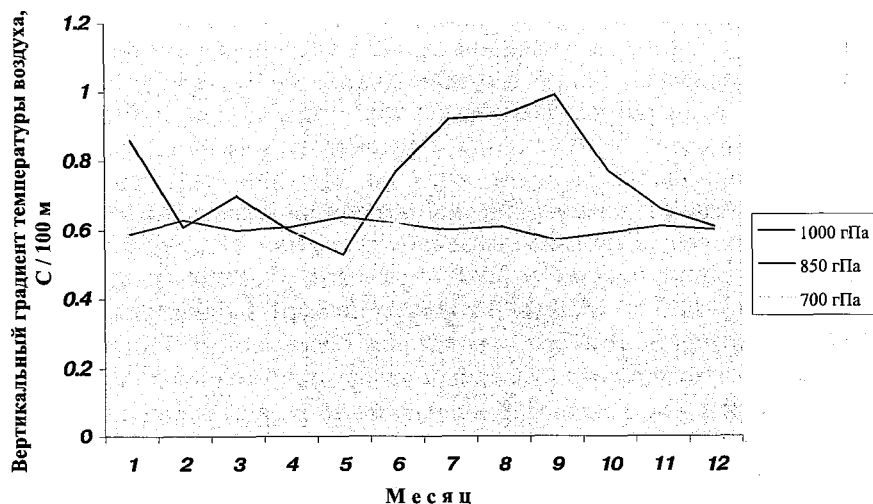


Рис. 9. Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 00 ч 00 мин мск, ст. Туапсе, 1961—1970 гг.



**Рис. 10.** Среднегодовой ход вертикального градиента температуры воздуха, °C/100 м, 12 ч 00 мин мск, ст. Туапсе, 1961–1970 гг.

ности для ст. Туапсе. Что, очевидно, объясняется термической конвекцией, достигающей своего максимального развития обычно в вечерние часы, неустойчивость, указанная на ст. Туапсе связана с влажной неустойчивостью тропосферы.

В дневное время (12 ч 00 мин мск) преобладают повышенные величины градиента на высоте 1000 гПа, так как прогрев поверхности только развивается. Неустойчивость хода значений градиента также зафиксирована на ст. Туапсе (рис. 10).

Т. о., выявленная тенденция увеличения значений температуры и влажности воздуха на разных высотах к западу (побережье Черного моря) обуславливает, очевидно, возрастание рисков опасных явлений погоды в этом направлении.

#### 1.2.2. Тенденции изменений основных метеозлементов в основные сроки наблюдений.

##### **Ночь (00 ч 00 мин мск).**

На высоте 0,16 км (1000 гПа) для температуры воздуха в январе—марте и октябре—декабре отмечено повышение значений (на-

клон поверхности) на юг и юго-запад. В теплый период года — апрель—август снижение значений происходит в северо-западном и западном направлениях. В сентябре имеет место одновременное увеличение температуры воздуха на юго-запад и северо-восток. В южных пунктах (ст. Туапсе и ст. Минеральные Воды) в течение года зафиксированы положительные значения. Для удельной влажности в течение года выявлена устойчивая тенденция повышения величин к югу и юго-западу при максимальном значении 12,03 г/кг в июле (ст. Туапсе), минимальном — 2,90 г/кг в марте (ст. Волгоград).

На высоте 1,43 км (850 гПа) с января по март наблюдались отрицательные значения температуры воздуха повсеместно, однако имел место наклон поверхности (повышение значений) на юг в эти месяцы и с сентября по декабрь. В апреле, июле и августе поверхность наклонена на юго- и северо-запад; в мае—июне — на юго-запад и северо-восток. Значения удельной влажности увеличиваются на юго- и северо-запад с января по март и с октября по декабрь; на юг — с апреля по сентябрь соответственно. При максимальном значении в июле (ст. Туапсе) 8,35 г/кг, минимальном — 1,75 г/кг в январе (ст. Волгоград).

На высоте 2,95 км (700 гПа) с января по май и с октября по декабрь повсеместно наблюдались отрицательные значения температуры воздуха. Поверхность при этом была наклонена на юг и юго-восток. Удельная влажность воздуха имела тенденцию увеличения значений на юго-запад с января по март и с ноября по декабрь; наклон поверхности на юго-восток был зарегистрирован в апреле—октябре, при максимальном значении 5,64 г/кг в июле (ст. Минеральные Воды), минимальном — 0,45 г/кг в феврале (ст. Минеральные Воды).

#### **Утро (06 ч 00 мин мск).**

На высоте 0,16 км (1000 гПа) для температуры воздуха в январе—марте и октябре—декабре отмечено повышение значений (наклон поверхности) на юг и юго-запад. В теплый период года — апрель—сентябрь поверхность наклонена в западном направлении. На ст. Туапсе в течение года зафиксированы положительные значения. Для удельной влажности выявлена тенденция повышения величин к югу с января по апрель и с августа по декабрь; к западу — с мая по

июль. При максимальном значении 11,45 г/кг в июле (ст. Туапсе), минимальном — 1,84 г/кг в июне (ст. Минеральные Воды).

На высоте 1,43 км (850 гПа) с января по март наблюдались отрицательные значения температуры воздуха на ст. Туапсе. Поверхность с января по март и октября по декабрь была наклонена на юг. В апреле—мае и августе—сентябре значения были повышены в западном направлении; в июне—июле — в юго-западном и северо-восточном соответственно. Значения удельной влажности увеличиваются на юго- и северо-запад с января по март и с октября по декабрь; на юг — с апреля по сентябрь соответственно. При максимальном значении в июле (ст. Туапсе) 7,67 г/кг, минимальном — 1,49 г/кг в июне (ст. Минеральные Воды).

На высоте 2,95 км (700 гПа) с января по май и с октября по декабрь на ст. Туапсе наблюдались отрицательные значения температуры воздуха. Поверхность в течение года была наклонена на юг. Удельная влажность воздуха имела тенденцию увеличения значений на юг с января по март—май и с июля по декабрь; наклон поверхности на запад был зарегистрирован только в июне, при максимальном значении 5,21 г/кг в июле (ст. Минеральные Воды), минимальном — 0,41 г/кг в феврале (ст. Минеральные Воды).

### День (12 ч 00 мин мск).

На высоте 0,16 км (1000 гПа) для температуры воздуха в январе—марте и октябре—декабре отмечено повышение значений (наклон поверхности) на юго-восток и юго-запад. В теплый период года — апрель—сентябрь поверхность наклонена в западном направлении. На ст. Туапсе в течение года зафиксированы положительные значения. Для удельной влажности выявлена тенденция повышения величин к югу в январе—феврале, апреле—мае и июле—августе; к западу — в марте и июне. При максимальном значении 12,82 г/кг в июле (ст. Туапсе), минимальном — 2,04 г/кг в январе (ст. Волгоград).

На высоте 1,43 км (850 гПа) с января по март наблюдались отрицательные значения температуры воздуха на ст. Туапсе. Поверхность с января по март и октября по декабрь была наклонена на юг. В апреле и сентябре значения были повышены в западном направлении; в мае—августе — в юго-западном и северо-восточном соответственно. Значения удельной влажности увеличиваются на юг с апреля по сентябрь; на запад — с января по март и с октября по декабрь

соответственно. При максимальном значении в июле (ст. Туапсе) 8,56 г/кг, минимальном — 1,81 г/кг в январе (ст. Волгоград).

На высоте 2,95 км (700 гПа) с января по апрель и с октября по декабрь на ст. Туапсе наблюдались отрицательные значения температуры воздуха. Поверхность в течение года была наклонена на юг. Удельная влажность воздуха имела тенденцию увеличения значений на юг в январе и с марта по декабрь; наклон поверхности на запад был зарегистрирован только в феврале, при максимальном значении 5,24 г/кг в июле (ст. Минеральные Воды), минимальном — 0,40 г/кг в феврале (ст. Минеральные Воды).

#### **Вечер (18 ч 00 мин мск).**

На высоте 0,16 км (1000 гПа) для температуры воздуха в январе—марте и сентябре—декабре отмечено повышение значений (наклон поверхности) на юг. В теплый период года — апрель—август поверхность наклонена в западном направлении. На ст. Туапсе в течение года зафиксированы положительные значения. Для удельной влажности выявлена устойчивая тенденция повышения величин к югу в январе—декабре. При максимальном значении 12,41 г/кг в июле (ст. Туапсе), минимальном — 2,09 г/кг в январе (ст. Волгоград).

На высоте 1,43 км (850 гПа) с января по март наблюдались отрицательные значения температуры воздуха на ст. Туапсе. Поверхность с января по март и октября по декабрь была наклонена на юг. С апреля по сентябрь значения были повышены в западном направлении. Значения удельной влажности увеличиваются на юг в январе и с апреля по сентябрь; на запад — в феврале—марте и октябре—декабре соответственно. При максимальном значении в июле (ст. Туапсе) 8,23 г/кг, минимальном — 1,79 г/кг в январе (ст. Волгоград).

На высоте 2,95 км (700 гПа) с января по апрель и с октября по декабрь на ст. Туапсе наблюдались отрицательные значения температуры воздуха. Поверхность в течение года была наклонена на юг. Удельная влажность воздуха имела тенденцию увеличения значений на юг с января по декабрь; при максимальном значении 5,58 г/кг в июле (ст. Минеральные Воды), минимальном — 1,11 г/кг в январе (ст. Волгоград).

Общей выявленной тенденцией для указанных сроков является преобладание изменений значений температуры и влажности возду-

ха в широтном направлении в течение года. Однако, для высоты 850 гПа и 700 гПа в холодный период времени, а именно, в феврале, характерно повышение влажности воздуха с севера на юг, а меридиональные тенденции повышения значений температуры воздуха, в свою очередь, зафиксированы для теплого периода года и только на высоте 850 гПа, выше которой данный процесс затухает. Очевидно, ситуация объясняется климатическими закономерностями.

### 1.2.3. Расчет и анализ значений чисел Ричардсона

Более точный подход к определению возможной термодинамической неустойчивости в аспекте возможности наличия турбулентных зон позволяют осуществить расчеты числе Ричардсона ( $Ri$ ).

Согласно параметризации, предложенной П. Стоуном, при числах Ричардсона, заметно больше единицы, рост амплитуды неустойчивости возмущений органичен средней зональной скоростью ветра. Т. е., в физическом смысле число Ричардсона — это соотношение между термической и динамической составляющих процесса формирования неустойчивости слоев атмосферы.

Т. о., что увеличение динамического фактора (скорости переноса) приводит к снижению устойчивости слоя воздуха и выражается в уменьшении значения  $Ri$ .

$$R_i = g/T^* (\gamma_a - \gamma)^* \beta^{-2}, \quad (1)$$

где  $\beta = \sqrt{(\Delta U/\Delta H)^2 + (\Delta V/\Delta H)^2}$ ,  $T^*$  — средняя температура воздуха (К),  $\gamma_a$  — сухоадиабатический градиент температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/100$  м),  $\gamma$  — вертикальный градиент температуры воздуха ( $^{\circ}\text{C}/100$  м),  $V$  и  $U$  — составляющие скорость ветра (м/с),  $H$  — высота поверхности. При  $R_i < 2-4$  можно констатировать наличие зон турбулентности.

Анализ внутригодового хода рассчитанных чисел Ричардсона для разных поверхностей показывает наличие стабильной тенденции к уменьшению их значений с высотой для всех исследуемых станций, что, очевидно, указывает на снижение устойчивости верхних слоев тропосферы и обуславливает формирование зон турбулентности, начиная с поверхности 850 гПа (1,43 км) (рис. 11). Интересно отметить, что большей устойчивостью слои воздуха отличаются в теплый период времени, что хорошо объясняется преобладание термической составляющей числа Ричардсона (табл. 1).

Таблица 1

**Рассчитанные значения чисел Ричардсона во внутригодовом ходе  
(1961–1970 гг.)**

| Станция                 | Месяц года |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------------------------|------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Выс. пов. гПа           | I          | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
| <b>Ростов-на-Дону</b>   |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1000                    | 22,9       | 27,3 | 23,5 | 26,6 | 30,4 | 35,1 | 33,1 | 28,8 | 30,4 | 27,3 | 22,9 | 24,0 |
| 900                     | 3,6        | 3,1  | 2,8  | 3,9  | 4,4  | 5,8  | 5,3  | 4,7  | 4,8  | 3,9  | 3,2  | 3,0  |
| 850                     | 2,6        | 2,4  | 2,0  | 2,8  | 3,2  | 4,0  | 3,5  | 3,2  | 3,7  | 2,9  | 2,4  | 2,0  |
| 700                     | 1,1        | 0,9  | 1,1  | 1,4  | 1,7  | 1,6  | 1,6  | 1,5  | 1,6  | 1,1  | 1,1  | 1,0  |
| 500                     | 0,4        | 0,3  | 0,5  | 0,7  | 0,8  | 0,8  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,4  | 0,5  | 0,3  |
| <b>Туапсе</b>           |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1000                    | 52,1       | 50,3 | 20,4 | 104  | 109  | 109  | 109  | 93,8 | 89,4 | 23,5 | 74,5 | 19,5 |
| 900                     | 4,8        | 4,7  | 2,5  | 6,2  | 7,0  | 9,3  | 10,9 | 10,5 | 8,4  | 3,5  | 5,4  | 2,3  |
| 850                     | 2,6        | 4,0  | 2,2  | 4,2  | 4,8  | 5,7  | 7,1  | 7,1  | 6,3  | 2,6  | 3,6  | 1,8  |
| 700                     | 1,4        | 2,5  | 1,1  | 2,2  | 2,2  | 2,6  | 3,1  | 2,6  | 2,4  | 1,2  | 2,0  | 1,1  |
| 500                     | 0,5        | 0,9  | 0,6  | 0,7  | 0,6  | 0,7  | 0,6  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,8  | 0,5  |
| <b>Волгоград</b>        |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1000                    | 20,8       | 19,9 | 20,4 | 23,5 | 25,9 | 31,3 | 32,2 | 28,8 | 28,8 | 23,5 | 19,5 | 19,5 |
| 900                     | 3,0        | 3,0  | 2,5  | 3,4  | 4,3  | 4,9  | 5,1  | 4,4  | 4,1  | 3,5  | 2,6  | 2,3  |
| 850                     | 2,7        | 2,3  | 2,2  | 2,6  | 3,2  | 3,4  | 3,2  | 2,9  | 2,9  | 2,6  | 2,1  | 1,8  |
| 700                     | 1,4        | 1,4  | 1,1  | 1,3  | 1,6  | 1,4  | 1,3  | 1,2  | 1,4  | 1,2  | 1,4  | 1,1  |
| 500                     | 0,8        | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 0,7  | 0,7  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 0,6  | 1,0  | 0,5  |
| <b>Минеральные Воды</b> |            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1000                    | 48,5       | 48,5 | 43,8 | 43,8 | 46,9 | 56,1 | 56,1 | 56,1 | 48,5 | 43,8 | 42,4 | 46,9 |
| 900                     | 5,8        | 6,6  | 5,7  | 5,1  | 5,3  | 6,6  | 6,8  | 6,6  | 6,0  | 5,7  | 5,8  | 5,4  |
| 850                     | 4,8        | 5,1  | 4,4  | 4,2  | 4,5  | 4,8  | 5,3  | 4,9  | 4,9  | 4,6  | 6,1  | 4,8  |
| 700                     | 1,1        | 1,2  | 1,6  | 2,3  | 2,3  | 2,5  | 2,8  | 3,0  | 2,8  | 1,4  | 1,6  | 1,3  |
| 500                     | 0,5        | 0,5  | 0,6  | 0,9  | 0,9  | 1,1  | 0,8  | 0,9  | 0,7  | 0,5  | 0,6  | 0,4  |

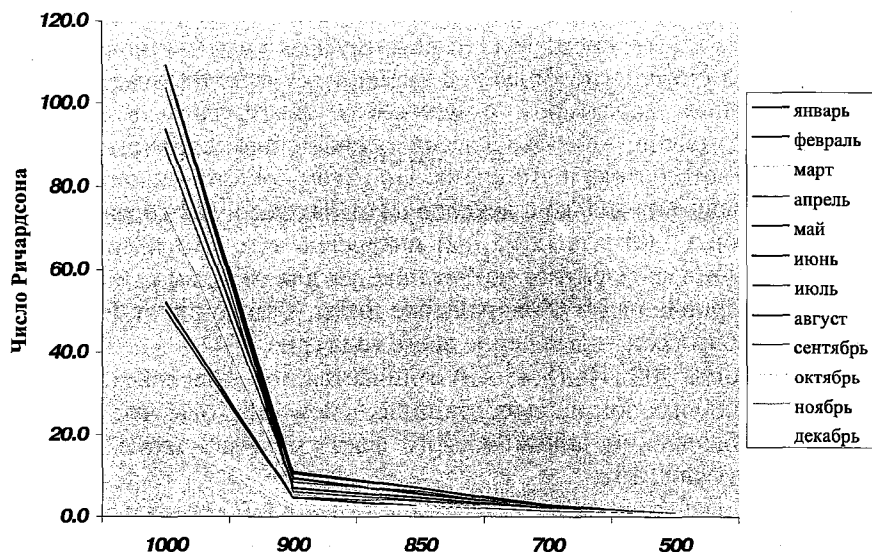


Рис. 11. Среднемесячные значения числа Ричардсона на высотах 1000–900–850–700–500 гПа, ст. Туапсе (1961–1970 гг.)

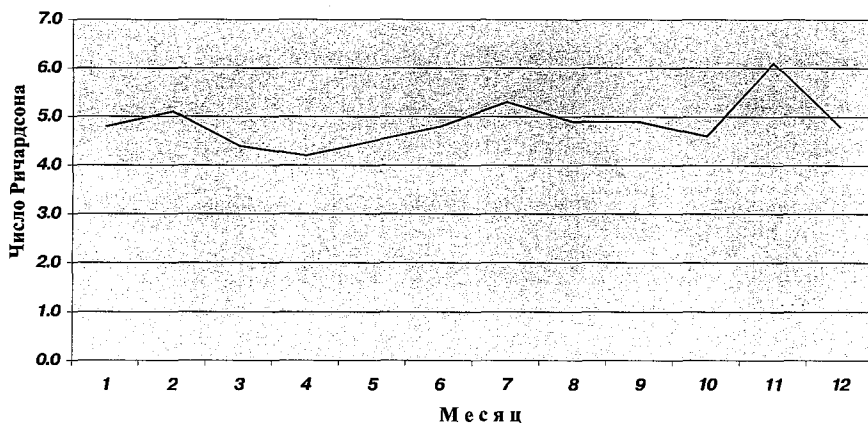


Рис. 12. Среднемесячные значения числа Ричардсона на высоте 850 гПа, ст. Минеральные Воды (1961–1970 гг.)

На высоте 850 гПа (1,43 км) наблюдается тенденция повышения их значений в теплое время года (с максимумом в июне—июле). Однако на ст. Минеральные Воды ход указанных чисел отличается более сглаженным характером с основным максимумом в ноябре (рис. 12). Возможно, это объясняется уменьшением скорости переноса воздушного потока в это время. При этом, неустойчивость слоев воздуха выявлена только в декабре на ст. Туапсе и Волгоград.

Поверхность 700 гПа (2,95 км) интересна тем, что количество возможных зон турбулентности повышается для отдельных месяцев холодного периода на ст. Минеральные Воды, Туапсе; на ст. Ростов-на-Дону и Волгоград — в течение всего года (рис. 13).

Поверхность 500 гПа (5,48 км) отличается повсеместным развитием турбулентных зон на всех станциях в течение года, что объясняется преобладанием динамического фактора (увеличение скорости переноса) (рис. 14).

Отсюда, очевидно, что до высоты 1,43 км слои тропосферы отличаются устойчивостью в течение года, которая поддерживается термической составляющей числа Ричардсона. Выше этой поверхности, из-за повышения роли динамического фактора, устойчивость нарушается, что приводит к формированию зон турбулентности и, следовательно, будет способствовать формированию опасных явлений погоды.

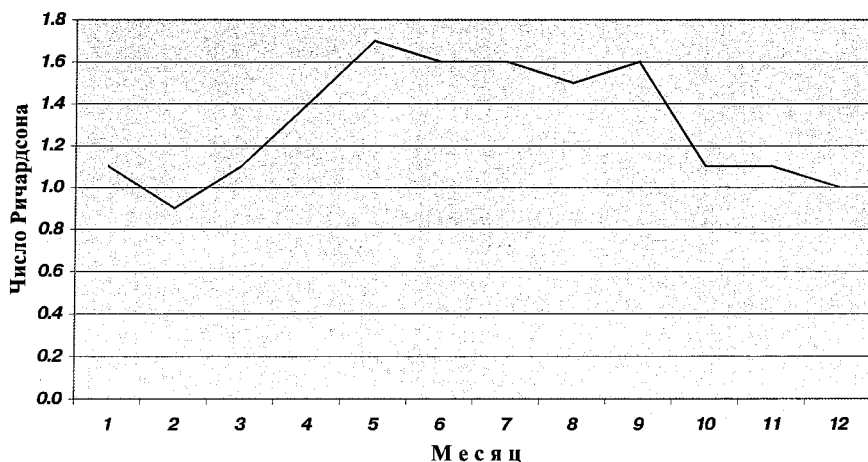


Рис. 13. Среднемесячные значения числа Ричардсона.

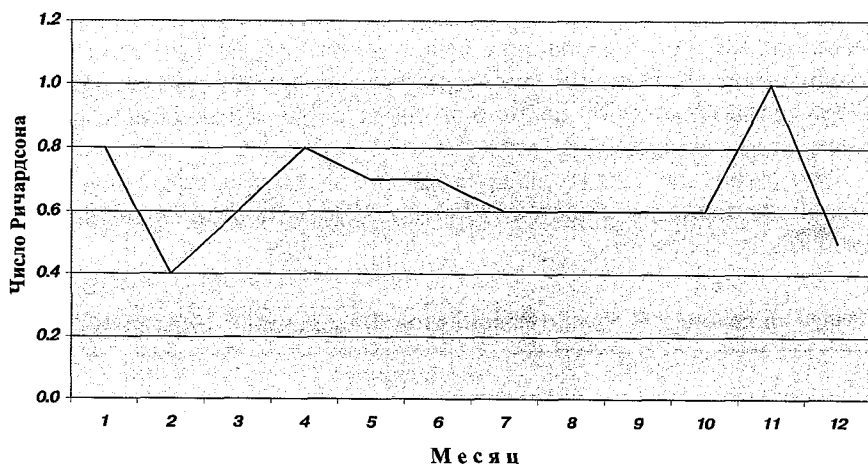


Рис. 14. Среднемесячные значения числа Ричардсона на высоте 500 гПа, ст. Волгоград (1961–1970 гг.).

### 1.3. Классификация и реализация в естественных условиях

Погодные явления, представляющие собой результат возмущения атмосферной циркуляции, являются опасными по своей социально-экономической направленности и образуют многочисленные разновидности.

Среди них особое место занимают подъемы уровня воды в природных водоемах и, как их следствие, опасные гравитационные геофизические процессы, а также усиление приземного ветра. В этой связи предлагается в качестве объекта исследований выделить две группы опасных явлений погоды, отличающихся повышенной повторяемостью в последние десятилетия XX и начале XXI вв. [12]:

1. Конвективные (обильные осадки, град, шквалы и смерчи), повышающие уровень из-за избытка выпавших твердых или жидких осадков и способствующие оврагообразованию, сходу оползней и селей.
2. Бароградиентные явления (сильные ветры), повышающие уровень механически, путем нагона водных масс.

Российская Федерация, имеющая достаточную широтную протяженность, а также местные особенности циркуляции атмосферы и

подстилающей поверхности, отличается большим разнообразием и распространенностью опасных явлений погоды. Однако тенденция повышенной вероятности конвективных явлений весьма выражена, о чем свидетельствуют величины числа случаев различных видов явлений, их вызывающих (табл. 2).

Изучение особенностей межгодового хода опасных явлений в России за период времени с 1986 по 2001 гг. позволило выделить следующие тенденции:

Таблица 2

**Опасные явления погоды в Российской Федерации с 1986 по 2001 гг.**

| Год  | Число случаев |               |        |                     |                    |                               |
|------|---------------|---------------|--------|---------------------|--------------------|-------------------------------|
|      | сильные ветры | сильные дожди | метели | высокие температуры | низкие температуры | гололедно-изморозевые явления |
| 1986 | 23            | 13            | 12     | 0                   | 1                  | 0                             |
| 1987 | 31            | 16            | 14     | 3                   | 3                  | 0                             |
| 1988 | 39            | 14            | 24     | 0                   | 0                  | 1                             |
| 1989 | 27            | 13            | 12     | 0                   | 3                  | 1                             |
| 1990 | 23            | 9             | 16     | 1                   | 5                  | 1                             |
| 1991 | 27            | 21            | 10     | 5                   | 1                  | 1                             |
| 1992 | 27            | 10            | 20     | 7                   | 0                  | 3                             |
| 1993 | 70            | 30            | 52     | 5                   | 6                  | 2                             |
| 1994 | 95            | 34            | 35     | 4                   | 15                 | 6                             |
| 1995 | 123           | 52            | 71     | 14                  | 4                  | 13                            |
| 1996 | —             | —             | —      | —                   | —                  | —                             |
| 1997 | —             | —             | —      | —                   | —                  | —                             |
| 1998 | 38            | 57            | 7      | 14                  | 17                 | 7                             |
| 1999 | —             | —             | —      | —                   | —                  | —                             |
| 2000 | —             | —             | —      | —                   | —                  | —                             |
| 2001 | 47            | 33            | —      | —                   | 13                 | 11                            |
| Σ    | 570           | 302           | 273    | 53                  | 68                 | 46                            |

Примечание. Для 1996, 1997, 1999 и 2000 гг. данные отсутствуют.

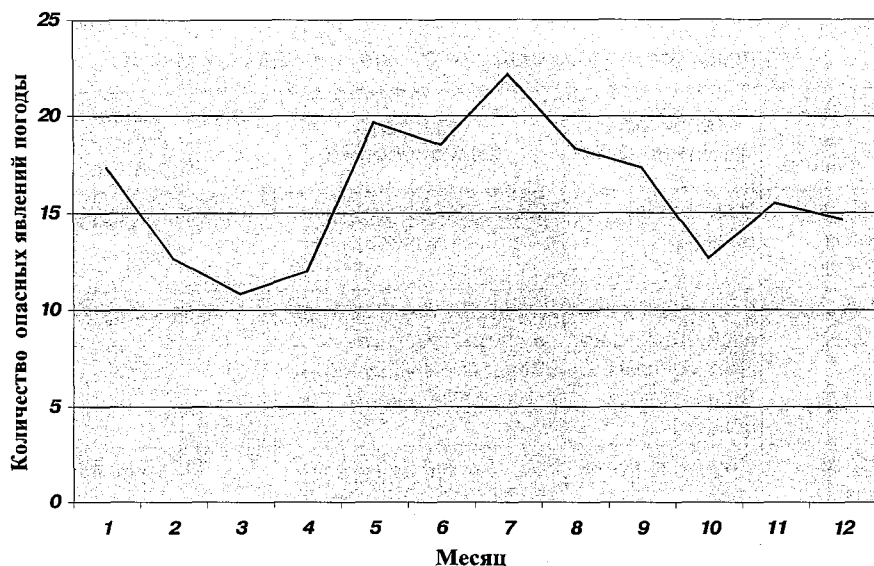


Рис. 15. Внутригодовой ход количества опасных явлений погоды на территории РФ, 1996–2001 гг.

- увеличение числа случаев от 1986 к 1995 гг. почти в 4 раза (от 61 до 250 соответственно);
- незначительное уменьшение количества явлений к 2001 г. до 211.

Таким образом, очевидно, что данные явления на территории РФ наблюдаются практически ежемесячно, повышая, тем самым вероятность социально-экономических последствий, таких как ущербы и потери. Построенный график внутригодового их хода позволяет выявить два момента пониженных значений их количества, а именно: весенний (март—апрель) и осенний (октябрь—ноябрь) (рис. 15).

Принцип увеличенной вероятности природных подъемов уровня в водоемах характерен также для южных районов России [13]. Об этом, в частности, свидетельствовал режим повышенной их повторяемости в теплый период 2002 г. Такие опасные явления погоды, как обильные осадки [14–22] или сильные ветры, способствующие повышению уровня природных вод, отличаются весьма высокой повторяемостью летом и обуславливают значительный ущерб (табл. 3).

В отличие от всей территории России, режим повышенной повторяемости сильных ветров [23–46], а также гололедно-изморозе-

Таблица 3

**Опасные явления погоды юга России и оценка их ущерба**

| Дата опасного явления | Территория возникновения                                            | Краткая характеристика                                                                     | Ущерб, нанесенный народному хозяйству |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 24–25 июня 1989г.     | Ростовская область                                                  | Ливень, 50–92 мм, продолжительность 8 ч                                                    | ~ 10 млн.руб.                         |
| 2–4 мая 1990г         | Ставропольский край, Калмыкия, Астраханская и Волгоградская области | Дождь 30–70 мм за сутки до 85 мм; ветер 18—24 м/с, порывы 29–36 м/с, продолжительность 3 ч | ~ 51 млн.руб.                         |
| 25–26 ноября 1995г.   | Ставропольский край                                                 | Сильный снег, 10–11 см, ветер 12–14 м/с, порывы 15–20 м/с                                  | ~ 1125 млн.руб.                       |
| 17 июля 1996г.        | Ростовская область                                                  | Шквал, ветер СВ 30–35 м/с, ливень, град, продолжительность 1 ч                             | ~ 14 млрд.руб.                        |
| февраль—март 1998г.   | Краснодарский край                                                  | Частые и продолжительные осадки, 150–380% от нормы                                         | ~ 249,6 млн.руб.                      |
| февраль—март 1998г.   | Ростовская область                                                  | Частые и продолжительные осадки                                                            | ~ 75,1 млн.руб.                       |

*Примечание.* Суммы ущербов даны в стоимостях, соответствующим экономическим расчетам данных лет.

вые явления [47–48] характерен для холодного периода года на ее южных равнинах по среднегодовым данным Северо-Кавказского УГМС.

Для теплого периода, в свою очередь, характерен небольшой рост частоты явлений в июне—июле в связи с режимом ливневых и сильных дождей, чаще внутримассового происхождения (рис. 16).

Таким образом, опасные явления погоды отличаются закономерным распределением количества в течение года, приводят к существенным суммам ущербов и потерям среди населения, чем и обуславливают негативные социально-экономические последствия.

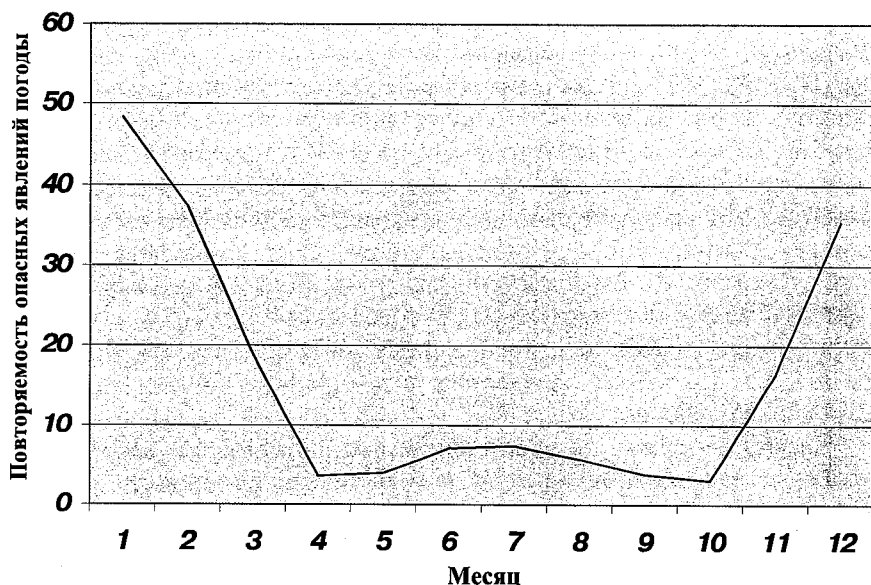


Рис. 16. Внутригодовой ход количества опасных явлений погоды юга России, 1950–2000 гг.

### 1.3.1. Конвективные явления

Значительный вклад в формирование природной составляющей наводнений, а также эрозионных процессов вносят избыточные и продолжительные осадки, как твердые, так и жидкие, а также приземные локальные вихри (смерчи и шквалы), зачастую их сопровождающие. По своему генезису эти явления погоды являются конвективными, так как определяются наличием вертикальных воздушных потоков в нижней части тропосферы. Кроме того, конвекция способствует формированию облачности, чаще вертикального развития. Отсюда, изучаемые явления связаны с облачностью, как внутримассового, так и фронтального происхождения, с мощным вертикальным развитием в нижней части тропосферы. При внутримассовом генезисе, когда имеет место малоградиентное барическое поле, особое значение имеет подстилающая поверхность, придавая дополнительный импульс энергии неустойчивости [49–51].

В качестве примера рассмотрим особенности приземного барического поля Европейской территории России за период времени с

1950 по 2000гг. В 85% на данной территории сильные дожди, град, шквалы и смерчи были вызваны комплексной причиной, сочетающей как циркуляционную, так и орографическую составляющие, а именно: перемещениями отдельных фронтов (чаще, холодных) на фоне малоградиентного барического поля. В 9% от общего наблюдались случаи явлений при малоградиентном барическом поле без фронтов, что выявляет значение подстилающей поверхности, создающей благоприятные условия для развития термической конвекции в условиях невозмущенного приземного поля давления (рис. 17). При этом скорости конвективных потоков изменялись от 6 до 12 м/с. Формирование Высотных фронтальных зон повышало эти значения до 30–35 м/с, контраст температур у поверхности составлял более 10–15 °С на 1000 км.

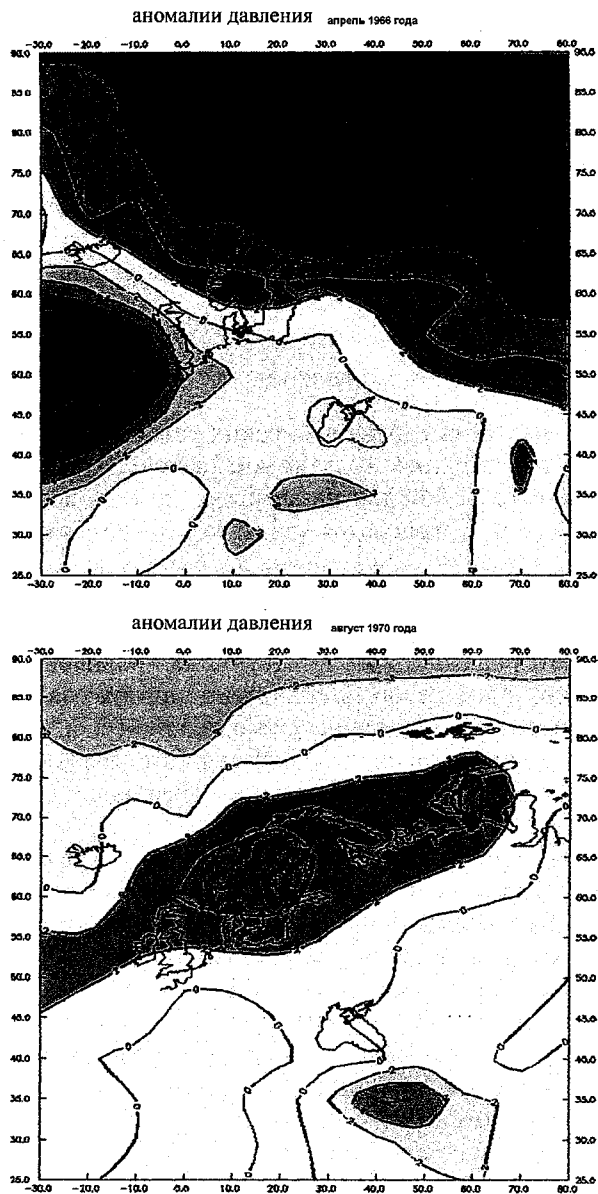
Весьма заметный за весь период исследований по своим масштабам и интенсивности режим повышенного уровня воды в реках юга России наблюдался в 1966 году. Природная составляющая данной ситуации была вызвана чрезвычайно сложным режимом циркуляции в этот период. Положительный знак меридиональной циркуляции, установившийся в большую часть года: с января по апрель и с ноября по декабрь, обусловил весьма теплые и влажные условия в связи с южно-северным переносом.

По этой причине достаточно высокое половодье, в частности, на реках бассейна Кубани продолжалось 7 месяцев. С мая по октябрь доминировал северно-южный перенос, тем самым, усиливая барические контрасты, способствуя выносу более холодного воздуха на юг РФ. Весьма интенсивные и продолжительные ливни в мае-июне не только способствовали подъему уровня, в свою очередь, и, кроме того, вызвали таяние высокогорных снегов и ледников. Максимальный сток реки Кубань у г. Краснодара в июне

1966 года составил 1920 м<sup>3</sup>/с. Суммарный экономический ущерб от данного явления составил 55 млн. рублей (по расчетам 1966 года).

Таким образом, риски сильных дождей, града и локальных вихрей, вызывающие подъем уровня вод в природных водоемах юга РФ, весьма возрастают при установлении как положительной, так и отрицательной форм меридиональной циркуляции.

Как известно, экзогенные геофизические процессы на земной поверхности имеют непрерывную динамику. Однако, режим повышенной интенсивности ливневых атмосферных осадков, весьма ха-



**Рис. 17.** Тенденции изобарической поверхности 1000 гПа  
в случаях сильных дождей

рактерный для погодных условий юга России, создает благоприятный фон для интенсификации процессов эрозии и плоскостного смыва. Кроме того, равнины южных областей отличаются всхолмленностью и рыхлостью слагающих грунтов и горных пород, что, в свою очередь, увеличивает угол наклона поверхности, а также физическую возможность размыва слоев. Так, повышенным оврагообразованием и эродированностью отличаются долины крупных рек (Дон, Волга, Кума, Кубань), а также береговые зоны Азовского и Черного морей.

### 1.3.2. Бароградиентные явления

Повышения уровня в морских устьях рек или на берегах крупных озер в результате воздействия ветра на водную поверхность представляют собой так называемые нагоны воды. При этом нагонная волна распространяется вверх по реке на расстояние, зависящее от уклона водной поверхности и глубины реки. На юге России по многолетним данным такие явления происходили при повышении рисков сильных ветров западных направлений.

Риски такого рода или соответствующие увеличения скоростей ветра в нижней части тропосферы имеют прямую зависимость от величины горизонтального барического градиента и косвенную от особенностей подстилающей поверхности. Это позволяет относить изучаемые усиления приземного ветра к аномальным бароградиентным явлениям.

Возмущения приземного поля давления на исследуемой территории в 59% случаев были вызваны циклонической циркуляцией, в 32% случаев наблюдались взаимодействия между отрогами антициклонов и Черноморской барической депрессией и в 8% их обуславливали подвижные антициклоны (рис. 18).

В числе некоторых особенностей формирования сильных ветров можно отметить наличие Высотной фронтальной зоны с контрастами температур не менее  $10^{\circ}\text{C}$  на 1000 км, величина горизонтального барического градиента не менее  $4\text{--}5 \text{ гПа} / 1^{\circ}$  меридиана [52–56].

Кроме того, большинство рассмотренных случаев явлений было обусловлено динамически движущимися системами. Особенно, в этом смысле можно упомянуть весьма частые вхождения так называемых северо-западных циклонов, скорости перемещения которых

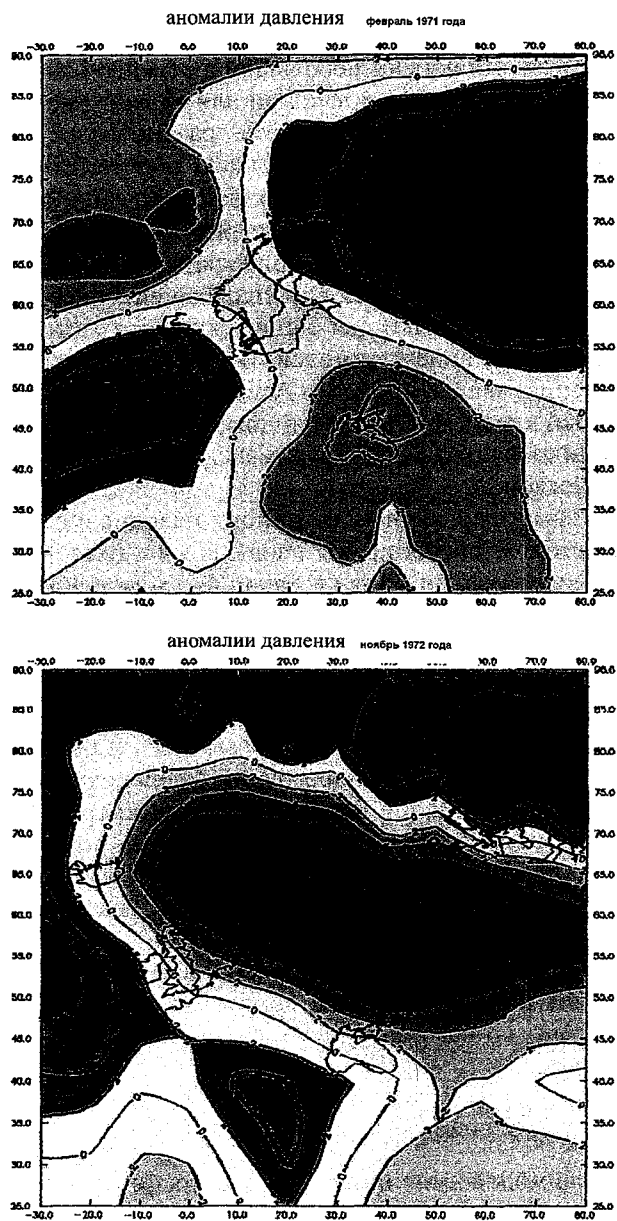


Рис. 18. Тенденции изобарической поверхности 1000 гПа

достигали 100 км/ч. Антициклоны, чаще всего ультраполярные или нормальные, также отличались небольшой динамикой движения [57].

В отличие от конвективных явлений для сильных ветров определяющей причиной является барическое разнообразие приземного поля или циркуляционный фактор. Однако подстилающая поверхность, в свою очередь, создает благоприятный фон для развития этих аномалий. В частности, это иллюстрирует возникновение в холодное время года Черноморской барической депрессии, максимум активности которой наблюдается в феврале во внутритродовом ходе.

Это создает предпосылки для барических контрастов приземного поля, проявляясь в виде взаимодействия между системами повышенного давления, чаще с отрогами Азиатского антициклона. Кроме того, равнинный характер территории юга России способствует свободному проникновению воздушных масс, различных по своим физическим свойствам.

Наиболее заметный случай нагонного наводнения на юго-восточном побережье Азовского моря наблюдался в октябре 1969 года. При этом перепад уровней моря составил 4–5 м вследствие быстрой смены юго-восточных ветров на северо-западные. Вблизи п. Темрюк уровень воды повысился на 2 м выше предштормового, а волна нагона распространилась по притокам реки Кубань вверх на 70 км. Соленость обычно пресных Ахтарских, Курчанских, Куликовских, Жестерских и Сладковских лиманов повысилась и составила 11–12 промилле. Характерно, что данное явление происходило на фоне отрицательной меридиональной циркуляции, при северо-южном переносе. А именно, серия северо-западных циклонов, перемещавшихся со скоростями не менее 100 км/ч, способствовала усилению приземных барических градиентов выше допустимых значений и обусловила риски сильных ветров в данное время.

Таким образом, отрицательная меридиональная циркуляция, способствующая рискам сильных ветров западных направлений, приводит к развитию нагонных явлений в устьевых зонах крупных рек юга России.

### 1.3.3. Новороссийская бора

Взаимодействие циркуляции атмосферы и местной орOGRAPHии как совместного фактора, влияющего на риски сильных ветров, можно представить на примере северо-восточных ветров Чер-

номорского побережья Кавказа (на участке Анапа-Новороссийск-Туапсе) — так называемой «новороссийской боры» [58].

Чрезвычайно благоприятными циркуляционными условиями для возникновения северо-восточных ветров в данном районе являются взаимодействия между низким давлением над Черным морем и повышенным над прилегающей сушей с тенденцией дальнейшего повышения, при этом имеет место тенденция усиления барических контрастов. В отношении орографии можно отметить значение Маркхотского перевала (с небольшой высотой, более 800 м), который способствует механическому увеличению скорости воздушного потока. Во время боры скорость ветра на перевале достигает 50–60 м/с, с порывами до 100 м/с.

Наиболее катастрофические случаи режима северо-восточных ветров происходили на данной территории в холодное время года. Тем самым, усугубляя негативный характер явления. Известно, что даже небольшие скорости ветра снижают теплоощущения. В случае боры температуры воздуха нередко составляли  $-15$ – $-20$  °С, а относительная влажность достигала 80–90%. Повышение скорости ветра более 15 м/с способствовало внезапному многочисленному обледенению различных объектов, в том числе обледенению и затоплению судов, стоящих в Новороссийском порту. Так, в частности, холодный период 1995 года отличался весьма продолжительным и активным режимом северо-восточных ветров. При этом в отдельных случаях скорость боры достигала более 50 м/с, что привело к значительному экономическому ущербу и жертвам среди населения.

## **2. Циркуляция атмосферы как основной определяющий фактор опасных явлений погоды**

### **2.1. Динамика состояний атмосферы и процессов, протекающих в нижней ее части**

Впервые теория устойчивости была изложена в работах Ляпунова и Пуанкаре в конце XIX века [59]. При этом, устойчивость (или неустойчивость) понимались как свойство отклика системы на внешнее возмущение. В простейшем случае зависимость отклика  $\Delta x(t)$  от времени выражается известной формулой:

$$\Delta x(t) = \Delta x_0 e^{\lambda t}, \quad (2)$$

где  $\Delta x(t)$  — отклонение от начального стационарного состояния  $x = 0$  в момент времени  $t$ ;  $\Delta x_0$  — начальное отклонение, то есть внешнее возмущение;  $\lambda$  — число Ляпунова.

Из формулы (2) следует, что если  $\lambda > 0$ , то состояние неустойчиво, и не может существовать длительно, даже при формальном стационарном характере движения. При  $\lambda < 0$  состояние системы считается устойчивым, и может продолжаться сколь угодно долго. В общем случае указанный выше отклик представляет собой сумму экспонент с разными числами Ляпунова, среди которых могут быть и комплексные.

Очевидно, что в теории устойчивости критерием считается знак числа Ляпунова с наибольшей вещественной частью. Величина возмущения  $\Delta x_0$  не является критерием устойчивости. Аргументация этого процесса проста: по прошествию достаточно большого времени такого, что величина  $\lambda t \gg 1$ , величина  $\Delta x(t)$  обязательно возрастет, то есть начальное состояние разрушится. Действительно, если величина  $\lambda t$  (так называемая «энтропия Колмогорова») станет равна, например, 1000, то величина отклика  $\Delta x(t)$  возрастет, даже если начальное возмущение имеет порядок  $\Delta x_0 = e^{-1000}$ . Реальные возмущения всегда много меньше этой величины. Более того, ни защитить систему от столь малых влияний, ни проконтролировать степень изоляции с достаточно высокой степенью точности принципиально невозможно. Время существования неустойчивого состояния оценивается как  $t_{\text{ср}} \approx 1/\lambda$  и носит название — «горизонт прогнозирования» или «горизонт предсказательности». Например, при  $\Delta x_0 = e^{-1000}$  такой результат не является конкретным предсказанием, а служит указанием на неизбежное разрушение неустойчивого состояния раньше времени  $t = 1000/\lambda$ .

Атмосфера как сложная динамическая система, не являющаяся изолированной, может характеризоваться, как минимум, двумя состояниями: устойчивым и неустойчивым. При этом проблема предсказуемости указанных состояний и протекающих при их реализации процессов реализуется вероятностными подходами, в частности методом рандомизации неопределенности (метод Баяеса). Неустойчивость в совокупности с другими факторами является одной из главных причин сложного поведения фазовых траекторий динамических систем, которое принято называть *детерминированным хаосом*.

сом [60]. Последний может возникнуть как в диссипативных, так и в консервативных системах. В диссипативных системах элемент фазового объема сжимается в процессе эволюции, тогда как в консервативных системах он сохраняется, испытывая лишь различные деформации в процессе эволюции. Хаотические движения в консервативных системах притягивающими не являются, они были обнаружены Пуанкаре (1892). Тогда как хаотические движения в диссипативных системах были обнаружены уже в XX в. Лоренцом (1963).

Для диссипативных систем характерно сочетание сильной экспоненциальной локальной неустойчивости с одновременным общим сжатием элементарных объемов фазового пространства. Что приводит к стохастическому поведению траекторий динамических систем [61]. В таких системах появляются странные аттракторы — инвариантные притягивающие множества, не являющиеся многообразиями. Если динамическая система порождена начально — краевой задачей для уравнений в частных производных, то ее фазовое пространство бесконечномерно, тогда как аттрактор этой системы часто конечномерен и представляет собой «островок» в этом пространстве.

Для обнаружения детерминированного хаоса в динамических системах можно использовать различные методы [62]. Например, можно рассматривать поведение автокорреляционной функции с течением времени. Если данная функция быстро убывает при условии, что время развития процесса стремится к бесконечности, то данное движение системы можно отнести к хаотическому. Если же функция постоянна или осциллирует, то движение, очевидно, имеет характер регулярного. Также можно использовать отображение Пуанкаре. Суть метода состоит в том, что в фазовом пространстве проводится некоторая гиперплоскость, называемая секущей Пуанкаре, и фиксируются точки пересечения траектории динамической системы с этой плоскостью. Если точки на сечении Пуанкаре заполняют гиперплоскость, то можно констатировать хаотическое поведение изучаемой траектории движения системы. Описаны и применяются и другие методы [63].

В данном исследовании, примем следующие гипотезы:

- атмосфера и ее движение могут быть описаны системой уравнений, порождающих динамическую систему;
- атмосфера, моделируемая как динамическая система, имеет глобальный аттрактор;
- атмосфера эволюционирует на аттракторе.

Откуда, будем исходить из того, что атмосфера — динамическая диссипативная система с присущим ей детерминированным хаосом. Именно хаотическое движение данной системы — атмосферы порождается ее локальной неустойчивостью и общим сжатием фазового пространства. При условии того, что область данного пространства отображается строго в себя.

## 2.2 Возмущения атмосферной циркуляции и следствия их проявлений

Усиление солнечной активности в атмосфере Земли обусловливает возрастание повторяемости меридиональных процессов. Следовательно, этот фактор можно рассматривать как фактор, возмущающий зональную циркуляцию, свойственную атмосфере и обусловленную неравномерным распределением солнечного тепла с широтой и отклоняющей силой Земли. Тем самым признается возможность влияния солнечной активности на тип атмосферных процессов [64].

В таком случае закономерности преобразования макропроцессов, характеризуют атмосферную циркуляцию как автономную среду, развивающуюся в основном без участия внешнего возмущающего фактора — солнечной активности. Роль последней состоит в том, что в периоды ее возрастания увеличивается частота «малых» преобразований зональных типов процессов в меридиональные и возрастает устойчивость последних. Следовательно, характер атмосферных процессов определяется в основном факторами и закономерностями, присущими атмосфере Земли, а аномалиями (флуктуации) их повторяемости в значительной степени зависят от характера влияния и изменения солнечной активности [65].

Таким образом, учет астрономо-геофизических факторов позволяет учесть переменные составляющие квазипостоянных факторов земного происхождения, а также выявить и объяснить длительные тенденции этих переменных составляющих и объяснить ими длительные тенденции развития общей циркуляции атмосферы, в частности циркуляционные эпохи.

Деформации уровенной поверхности, вызванные астрономо-геофизическими факторами, вызывают наклон этой поверхности в сто-

рону полюса (положительные значения индекса) или в сторону экватора (отрицательное значение индекса). В первом случае происходит усиление океанических течений, как Гольфстрим и Куроисио. Это способствует усилению по сравнению с нормой выноса теплых водных масс в более высокие широкие Атлантического и Тихого океанов и формированию здесь областей с положительной аномалией температуры воды. Это существенно должно изменить характер теплового взаимодействия океана и атмосферы, с одной стороны, и теплового состояния океана и суши, с другой. Естественно, что все это не может не сказаться на характере атмосферных процессов, их преобразованиях и повторяемости. В случае отрицательных значений индекса уровенная поверхность океана наклонена в сторону экватора. Это обуславливает ослабление океанических течений и притока теплых вод в направлении высоких широт, где в это время формируются области отрицательных аномалий температуры воды. Как очевидно, это должно отразиться на характере атмосферных процессов, причем иначе, чем в первом случае [66].

Характер (типы) атмосферных процессов, наблюдаемых на ежедневных синоптических картах, возникает в результате сочетания различных факторов земного и космического происхождения. Роль этих факторов в развитии атмосферных процессов изменяется во времени, так как они сами изменяются во времени, обнаруживая нередко свойство периодичности или ритмичности. Поскольку свойство периодичности обычно характеризуется сочетанием периодов различной продолжительности, в изменении указанных факторов выявляются тенденции различной длительности. Так, например, в изменении солнечной активности выявлены 11-летние, вековые (80–90 лет) и другие циклы. При этом циклы меньшего порядка (например, 11-летние) могут рассматриваться как стадии формирования циклов более высокого порядка (например, вековые). Следовательно, все циклы находятся в тесной связи и отражают сложную природу временного изменения данного фактора.

Таким образом, солнечная активность существенно влияет на характер циклонической деятельности и связанный с ней режим погоды. Второй фактор (вращение Земли) имеет, видимо, период изменения, близкий к 3–4 годам и связанный с изменением скорости вращения Земли. Сюда же можно отнести и шестилетние колебания в изменении нутации полюсов.

То есть, из существующих факторов, влияющих на циркуляцию атмосферы, наибольшее значение в формирование ее типов имеют астрономо-геофизические.

### 2.2.1. Астрономические факторы

Из всего многообразия влияния объектов окружающего космического пространства существенным образом на состояние атмосферы и ее циркуляции оказывает, очевидно, Солнце в аспекте степени возмущенности его фотосферы. В этом смысле солнечную активность можно измерять непосредственно числами Вольфа (числа солнечных пятен), так и опосредованно, в виде коэффициентов возмущенности магнитного поля Земли [67].

Агентами, вызывающими возмущения околоземного космического пространства, являются:

- транзитные структуры — выбросы коронального вещества, являющиеся следствием активных процессов во вспышках и в выбросах волокон;
- высокоскоростные потоки солнечной плазмы, следующие за ударной волной от больших вспышек и выбросов солнечных волокон или истекающие из областей с открытой конфигурацией магнитного поля (из области корональных дыр).

Корональные дыры (КД), отличающиеся пониженной плотностью и температурой, интересны тем, что они являются источниками квазистационарных потоков солнечного ветра. Кроме того, большая часть КД группируется вблизи солнечных пятен. Геоэффективные явления от КД проявляются через 27,3 суток [68].

Выбросы солнечных волокон представляют собой явления, которые имеют вид двухленточной вспышки, а прогноз их влияния на геосферу осуществляется на период от 1 до 5 суток.

Наиболее существенную перестройку магнитосферы и ионосферы вызывают потоки сравнительно плотной ( $n \approx 1-70 \text{ см}^{-3}$ ) на орбите Земли квазинейтральной и низкоэнергетичной ( $E < 10 \text{ кэВ}$ ) плазмы солнечного ветра. Явлению поглощения на полюсах способствуют потоки энергетичных ( $E \approx 10-100 \text{ МэВ}$ ) «вспышечных» протонов малой плотности ( $n \approx 10^{-10}-10^{-7} \text{ см}^{-3}$ ). Всплески потоков ультрафиолетового излучения, а также потоков мягкого и жесткого рентгеновского излучения от вспышек вызывают изменения или даже возмущения в ионосфере.

В настоящее время установлено [69], что потоки солнечного ветра могут быть разделены на 2 класса:

1. Квазистационарные, время источников жизни которых более суток;
2. Спорадические, источники которых характеризуются величиной менее суток.

В свою очередь квазистационарный солнечный ветер бывает 2 типов:

- быстрый, истекающий из области корональных дыр и достигающий на орбите Земли  $V \approx 400\text{--}800$  км/с;
- медленный, текущий в поясе стримеров или в цепочках стримеров со скоростью  $V \approx 250\text{--}400$  км/с.

Основными источниками спорадического солнечного ветра являются выбросы корональной массы, включающие в себя эруптивное вещество, и, возможно, вспышки. При этом наиболее сильные геомагнитные возмущения вызываются спорадическими потоками солнечного ветра, распространяющимися, как правило, по квазистационарному солнечному ветру. В отдельных редких случаях возможна последовательность следующих друг за другом спорадических потоков. Они вызывают самые мощные возмущения магнитосферы и ионосферы Земли.

С точки зрения солнечно-земных связей наибольший интерес представляют переходные сезоны года, а именно, весна и осень, так как в это время Земля имеет экстремальные гелиографические широты в годовом вращении вокруг Солнца. То есть, в эти сезоны наблюдается максимальная гелиомагнитная возмущенность. Причем, осенью Земля проецируется на северное полушарие Солнца, весной — на южное.

Установлено, что зависимость циркуляции земной атмосферы от солнечной активности очевидна [71]. Это влияние передается межпланетным магнитным полем, секторная структура которого связана с индексом зональной циркуляции. То есть, солнечное воздействие выражается в том, что на законы земного происхождения, определяющие атмосферную циркуляцию, накладывается некая дополнительная составляющая. Последняя имеет определенную направленность и в зависимости от ее знака меняет соотношение широтной и меридиональной составляющих в переносе воздушных масс.

Интересно, что активность северного полушария Солнца доминирует на нисходящей ветви 11-летних циклов, приходящихся на восходящую ветвь векового цикла (циклы 16–19), а активность южного полушария — на нисходящей ветви 11-летних циклов, приходящихся на ветвь спада векового цикла (циклы 12–14).

Попытки установления влияния солнечной активности на активность циркуляции атмосферы позволили выявить, что характер годового хода повторяемости западной ее формы (*W*) контролируется геомагнитной активностью и асимметрией запятненности полушарий Солнца.

Согласно многочисленным научным исследованиям, проведенным в разное время, установлено, что возникновение эпох однородной циркуляции атмосферы вызвано в основном многолетними колебаниями солнечной активности и прежде всего 80–90-летним циклом. Границы циркуляционных эпох связаны с определенными периодами развития векового солнечного цикла. Однако периоды роста и спада векового цикла формируются периодами роста и спада 11-летних циклов солнечной активности, которые, в свою очередь, являются стадиями векового цикла и могут рассматриваться как одна из причин возникновения стадий циркуляционных эпох.

При изучении изменения повторяемости форм циркуляции по фазам 11-летних циклов за период 1901–1963 гг. М. Ш. Болотинская и В. А. Белязо установили, что в течение двух 11-летних циклов (четный—нечетный) выделяется 7 однородных периодов (стадий) в развитии одной или двух форм циркуляции. Почти во всех случаях периоды одного знака аномалий определенной формы циркуляции характеризуются одинаковым знаком аномалий чисел Вольфа.

Данные циклы (11-летние) обуславливают не только формирование эпох циркуляции, являясь стадиями векового цикла, но и в значительной степени границы стадий этих эпох, связанные с изменениями аномалий чисел Вольфа внутри 11-летних циклов.

О характере макропреобразований эпох атмосферной циркуляции имеются данные на ветви спада и роста векового цикла солнечной активности. Как известно, рост солнечной активности векового цикла обусловил увеличение повторяемости меридиональных переносов в атмосферной циркуляции. Очевидно, что ее спад должен привести к аномальному развитию зональной циркуляции. В 11-летних циклах такой характер связи солнечной активности с атмосферной циркуляцией наблюдается только в нечетных циклах.

Кроме того, характер внутригодовых преобразований циркуляции в стадиях, приходящихся на ветвь роста и ветвь спада 11-летних циклов, неоднозначен.

Предполагается, что в вековых циклах характер связи атмосферной циркуляции с солнечной активностью также может меняться в зависимости от четности векового цикла или, точнее, от его интенсивности. В научной литературе имеются данные о чередовании высоты вековых циклов солнечной активности. Например, вековой цикл (1976–1977 г.) более высокий, чем предыдущий, поэтому его условно считают нечетным. В период максимума данного векового цикла, подобно максимуму нечетных 11-летних циклов, аномальное развитие получили процессы  $E + C$  циркуляции. Также, данная циркуляционная эпоха характеризовалась спадом активности векового цикла, имела средние значения аномалий форм циркуляции, которые характерны для ветви спада нечетных 11-летних циклов. Это эпоха  $C + W$  циркуляции при развитии зональных процессов в Тихоокеанском секторе (причем смена  $E + C$  циркуляции на  $C + W$  произошла около 1984 г.).

Поскольку данная эпоха циркуляции продлится до начала спада активности следующего 11-летнего цикла, две последующие стадии циркуляции: стадия, приходящаяся на период роста солнечной активности нечетного 21-го цикла, и стадия, приходящаяся на период его максимума, проходили на циркуляционном фоне, характерном для эпохи  $E + C$  циркуляции.

Стадия эпохи 1976–1977 г. характеризовалась некоторым превышением относительно нормы процессов западной циркуляции в мае. В остальные месяцы повторяемость форм циркуляции была близка к эпохальной норме. В Тихоокеанском секторе значительное развитие в холодное время года получили процессы меридиональной циркуляции.

Заключительная стадия данной эпохи была связана с периодом максимальной солнечной активности (1978–1983 г.). Циркуляционные особенности стадии, приходящиеся на максимум нечетных циклов, характеризовались преобладанием процессов  $E$ . Следовательно, особенности циркуляционной эпохи как бы усиливаются в заключительной ее стадии, подобно тому, как это наблюдалось в период максимума нечетного 19-го 11-летнего цикла (1956–1959 г.).

Таким образом, очевидно, что изменение солнечной активности формирует периоды однородной циркуляции различного порядка длительности.

Как показано в таблице 4, 1999 г. и максимум солнечной активности отличается умеренностью. Однако, как показывают реальные наблюдения, на фоне средней солнечной активности возможны отдельные весьма активные выбросы элементарных частиц высокой энергии, которые возмущают магнитосферу Земли в значительной степени, сопоставимой с периодами повышенного количества числе Вольфа.

Обобщенное представление о физической природе гелиогеофизических механизмов дано в работе А. А. Дмитриева. Установлено, что в числе последствий проникновения корпускулярных потоков солнечного происхождения, следующие:

#### 1. Конденсационный механизм.

Всплески рентгеновского излучения приводят (с опозданием на 24 ч) к росту облачности (на 0,25–0,5 балла), что способствует

Таблица 4

Среднегодовые характеристики активности Солнца

| Год  | W   | $F_{10,7}$ | Вспышечная активность |     |     |    | J  | Геомагнитные бури с Ap |       |      |
|------|-----|------------|-----------------------|-----|-----|----|----|------------------------|-------|------|
|      |     |            | $\Sigma$              | > 1 | M   | X  |    | 15–30                  | 30–50 | > 50 |
| 1989 | 219 | 214        | 5780                  | 140 | 605 | 58 | 10 | 24                     | 20    | 13   |
| 1990 | 205 | 187        | 5430                  | 67  | 265 | 16 | 5  | 26                     | 9     | 9    |
| 1991 | 219 | 208        | 5230                  | 140 | 595 | 53 | 7  | 18                     | 11    | 13   |
| 1992 | 141 | 153        | 2780                  | 36  | 193 | 10 | 4  | 25                     | 8     | 5    |
| 1993 | 78  | 110        | 1740                  | 20  | 73  | 0  | 0  | 25                     | 14    | 1    |
| 1994 | 48  | 85         | 700                   | 3   | 24  | 0  | 1  | 19                     | 9     | 2    |
| 1995 | 29  | 78         | 400                   | 3   | 11  | 0  | 0  | 21                     | 9     | 2    |
| 1996 | 13  | 72         | 190                   | 0   | 4   | 1  | 0  | 17                     | 3     | 0    |
| 1997 | 30  | 81         | 530                   | 6   | 20  | 3  | 1  | 19                     | 4     | 0    |
| 1998 | 88  | 117        | 1410                  | 24  | 96  | 15 | 5  | 16                     | 8     | 6    |
| 1999 | 136 | 154        | 3220                  | 35  | 170 | 4  | 0  | 23                     | 9     | 2    |

Примечание.  $F_{10,7}$  — поток  $F$  солнечного радиоизлучения с длиной волны 10,7 см. Начало нового 23-го солнечного 11-летнего цикла отсчитывается от 1996г.

уменьшению радиационного баланса на 1–2%. В результате чего наблюдаются значительные изменения в режиме конденсации при малых энергетических воздействиях. Так, по экспериментальным данным, поток солнечных протонов с ППИ  $1 \text{ Вт/м}^2$  менее чем в течение 1 ч обеспечивает условия для возникновения тумана с водностью  $0,1 \text{ г/м}^3$ .

## 2. Индукционный механизм.

Создается в верхних ионизированных слоях атмосферы, где изменение вектора магнитной индукции  $\vec{\Delta B}$  [Тл] солнечного происхождения должно, в соответствии с уравнениями Максвелла, вызывать изменения завихренности  $\Delta r_o t p \vec{v}$ . При этом, если удельный массовый заряд среды  $q$  [к/кг], а плотность  $\rho$  [кг/м<sup>3</sup>], то  $\Delta r_o t p \vec{v} = -\rho q \Delta \vec{B}$ . В согласии с принципом минимума диссипации энергии в областях однородной завихренности могут возникать дискретные вихри, проникающие в тропосферу. Эффект бароклинности при неустойчивости будет способствовать развитию вихрей в соответствии с теоремой В. Бьеркнеса. На периферии области изменения завихренности возникает изменение циркуляции скорости, равное изменению потока вектора вихря через поверхность, ограниченную контуром, вдоль которого вычисляется циркуляция. Так, для кругового контура радиуса  $r$  при однородной завихренности изменение скорости составляет:  $\Delta v = \sqrt{(\Delta v_\lambda)^2 + (\Delta v_\phi)^2} = 1/2 q \Delta B_z r$ . То есть, следствием циркуляционного механизма является изменение завихренности и изменение значительных скоростей на периферии областей завихренности. Так, в частности, на уровне 300 гПа над северной частью Тихого океана и Северной Америкой отмечена связь между завихренностью ложбины и резким изменением геомагнитной активности за 2–4 дня до появления ложбины. Также, выявлена зависимость между индексом солнечной активности  $S_{10,7}$  (поток радиоизлучения Солнца на длине волны 10, 7 см) и скоростью ветра, причем соседние максимумы повторялись примерно через 27 дней.

## 3. Механизм воздействия электрического поля.

Третий механизм менее выражен и характеризуется прямым воздействием электрического поля на практически нейтральный воздух

тропосферы, рассматриваемый как диэлектрик. Под действием электрического поля диэлектрик поляризуется и стремится втянуться в области более сильного поля. Сила втягивания единицы объема воздуха, имеющего относительную диэлектрическую постоянную  $\epsilon$ , равна  $f \rightarrow [\text{Н/м}^3] = \epsilon_0(\epsilon - 1)/2 \Delta E^2$ , где  $\epsilon_0 = 0,885 \cdot 10^{-11} [\text{Ф/м}]$ . Если это поле связано с солнечной плазмой, пересекаемой Землей при ее орбитальном движении, то оно будет иметь вид бегущих волн, захватывающих за собой поляризованные частички, создавая добавочные ветровые поля.

#### *4. Механизм воздействия на тропосферу магнитного поля.*

Данный механизм осуществляется посредством взаимодействия токов проводимости и конвекционных токов в тропосфере со слабо изменяющимся магнитным полем. На единицу объема при наличии плотности тока  $j \rightarrow$  и магнитной индукции  $B \rightarrow$  действует сила  $f \rightarrow [\text{Н/м}^3] = [j \rightarrow B \rightarrow]$ . Однако величина сил, возникающих при средних условиях среда, настолько мала (порядка  $2 \cdot 10^{-16} \text{ Н/м}^3$  при  $j = 4 \cdot 10^{-12} \text{ А/м}^2$  и  $B = 0,5 \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$ ), что даже при длительном, в течение нескольких суток, действии заметного эффекта не последует. Более вероятно влияние магнитного поля на конденсационные свойства воды. Исходя из представления К. С. Трингера, что вода содержит микрофрагменты льда, кристаллические жидкие микрофазы и что в слабых постоянных магнитных полях переход жидких микрофаз в кристаллические не требует расходования свободной энергии, то можно ожидать влияния солнечно обусловленных магнитных полей на конденсационные процессы. По экспериментальным данным, дистиллированная вода, обработанная магнитным полем 300–600 Э и помещенная в холодильник, начинает на

30–40% быстрее кристаллизоваться. При таком ускорении кристаллизации в природных условиях разрешение влажнонеустойчивых состояний соответственно будет интенсифицироваться в случае воздействия магнитного поля, что приведет к увеличению грозовой деятельности, локальных подоблачных вихрей и осадков.

В результате попыток выявления корреляции между циркуляцией атмосферы и скоростью плазмы солнечного ветра выявлено, что прослеживаемая связь отличается неустойчивостью и оказывает влияние, скорее, магнитная энергия плазмы. Кроме того, установлено, что индексы зональной циркуляции связаны со знаком межпла-

нетного магнитного сектора (разделены условно на положительный и отрицательный). Зимой в пределах северного полушария для положительного сектора характерно уменьшение индекса циркуляции; для отрицательного — увеличение индекса. Летом и в переходные сезоны для положительного — наблюдалось увеличение циркуляции; а для отрицательного секторов — уменьшение в свою очередь.

### 2.2.2. Геофизические факторы

Движение Земли как орбитальное, так и осевое обуславливают, в свою очередь, возникновение внутренних движений планеты. К которым, кроме прочих, относят движения полюса Земли.

По мнению И. В. Максимова, практически силы деформации могут усиливать или ослаблять центры действия атмосферы, тем самым изменяя циркуляцию атмосферы.

Выражение для потенциала этой силы выведены Манком (1916), Швейдаром (1952):

$$W_p = -1/2 \omega^2 z^2 (X \cos \lambda + Y \sin \lambda) \sin 2\theta, \quad (3)$$

где  $\omega$  — угловая скорость вращения Земли, равная  $7,29 \cdot 10^{-5}$  (с<sup>-1</sup>);  $z$  — радиус Земли, равный  $6,3712 \cdot 10^8$  см;  $X$  и  $Y$  — координаты полюса вращения Земли;  $\theta$  — дополнение до широты места;  $\lambda$  — долгота места.

Уравнения вертикальной и горизонтальной составляющих этой силы были выведены И. В. Максимовым, Н. П. Смирновым и Э. И. Саруханяном (1969, 1970).

Горизонтальный компонент силы представляет векторную сумму двух составляющих, одна из которых направлена по меридиану, а другая — по параллели.

$$(\overline{F_p})_s = (\overline{F})_\phi + (\overline{F_p})_\lambda, \quad (4)$$

где

$$(\overline{F_p})_\phi = \frac{1}{r} \frac{dW_p}{d\theta} = -\omega_r^2 (x \cos \lambda + Y \sin \lambda) \cos 2\theta \quad (5)$$

и

$$(\overline{F_p})_\lambda = -\omega_r^2 (Y \cos \lambda - x \sin \lambda) \cos \theta. \quad (6)$$

Выражение для вертикальной составляющей этой силы показывает, что изменения ее в пространстве подобны изменениям потенциала силы деформации. Сила эта достигает максимума на  $45^\circ$  с.ш. и ю.ш. и равна 0 на экваторе и у полюсов.

Горизонтальная составляющая силы деформации изменяется по более сложному закону. Меридиональная составляющая силы имеет максимум и противоположно направленные значения у полюсов и на экваторе и равна 0 на  $45^\circ$  с.ш. и ю.ш. Зональная составляющая максимальна и противоположно направлена у полюсов и равна 0 на экваторе.

Сила деформации: Оба вектора максимальны на полюсах, горизонтальная составляющая максимальна на экваторе, изменяясь в меридиональном направлении. При этом, силой, способной вызвать возмущение в атмосфере и океане Земли считается именно горизонтальная составляющая, т. е. она действует в плоскости, касательной к земной поверхности, и соизмерима с другими горизонтальными силами.

Реальные движения полюса вращения Земли имеют сложный характер и создаются в основном в результате 12-месячных (вынужденных) и 14-месячных (свободных) колебаний мгновенной оси вращения Земли. Кроме того, существует слабое полугодовое колебание и вековое движение полюса.

Построенное силовое поле для 1966 г. на Земле показало, что на планете существуют области — «полюса» конвергенции и дивергенции горизонтальной составляющей силы деформации, при этом они обнаружили перемещение с запада на восток вслед за движением Земли полюсов дивергирующих сил и всего поля в сложно-периодическом ритме в течение 14 месяцев.

То есть, практически силы деформации могут усиливать или ослаблять центры действия атмосферы, тем самым, изменяя циркуляцию атмосферы.

И. В. Максимов указывал, что учет системы деформационных воздействий на атмосферу Земли являются необходимыми для успешного изучения природы.

В качестве более подробного обсуждения данного вопроса можно рассмотреть угловой момент вращения Земли и его геофизические следствия.

### *Угловой момент вращения*

Запас углового момента Земли представляет простой пример того, как различные элементы климата (атмосферы, океаны, земная поверхность) работают вместе и взаимодействуют через основной физический закон сохранения, несмотря на громадные различия в пространственных и временных масштабах.

Угловой момент вращения по Старру — это компонента вектора углового момента, которая параллельна земной полярной оси. Относительно атмосферы она включает две компоненты, одна из которых связана с пространственным вращением Земли ( $M_\Omega$ ) воздушного потока, относительно вращения Земли — относительным угловым моментом ( $M_n$ ):

$$M = M_\Omega + M_n. \quad (7)$$

Большая часть временной изменчивости обнаружена в относительном угловом моменте.

### *Общий угловой момент вращения и длина дня*

Известно, что значимые изменения в относительном угловом моменте всей атмосферы имеют место в рамках таких временных масштабов, как дни, месяцы, годы, десятилетия. Установлено, что есть небольшая компенсация изменений углового момента земной оболочки (твёрдой) во временной шкале дней—лет и, что океаны, снег и лед не играют в этом существенной роли. Эти изменения легко наблюдаются в изменениях длительности дня (ДД). Например, увеличение углового момента Земли уменьшает ДД.

Поскольку изменения в скорости вращения Земли очень малы, т. е. изменения в скорости Земли на экваторе имеют порядок нескольких микрометров в секунду, Земля не может значимо волновать атмосферный поток. Но исследования Виктора Паула Старра указывают на тот факт, что атмосфера влияет на движение Земли по кругу в масштабе дней—лет. Взаимодействие носит чисто односторонний характер: атмосфера—Земля.

Тейлором и др. (1985) установлено, что через сцепление ядра и мантии вековые (десятилетние) изменения в ДД порядка 0.5 мсек могут быть выведены из предшествующих изменений во вращении

ядра. Это предполагает обязательное направление принуждения: ядро—мантия—кора. Еще более крайнее положение связывает изменения в ядре с климатическими изменениями в атмосфере и упоминается в статье Салстейна и Розена (1986): «Была предложена гипотеза о том, что десятилетние изменения в ДД порожденные в ядре Земли, отвечают за некоторые изменения в климате, через влияние на угловой момент атмосферы и, следовательно, циркуляцию».

Более приемлемая гипотеза заключается в том, что принуждение ядро—мантия могло бы происходить в противоположном направлении: атмосфера—кора—мантия—ядро. Последнее более подходит для объяснения того, что стохастическое (случайное) или шумовое принуждение, которое оказывает атмосфера, может вызывать длительные, на протяжении десятилетий, изменения скорости вращения земного ядра, подобные механизму предложенному Хассельманом (1976), для объяснения продолжительных изменений в океанах.

Изменчивость в общем угловом моменте атмосферы и изменения ДД должны быть связаны через сеть преобразований углового момента на поверхности Земли. Это преобразование может происходить двумя путями: через вращательный момент трения над океанами и землей и через вращательный момент давления через горы. Примем, что океаны вращаются вместе с Землей как твердое тело. Когда Земля ускоряется в северную весну, должно происходить уменьшение западного углового момента, связанное с избытком силы напряжения трения, направленной на восток и разностью более высокого давления на западной стороне, чем на восточной у главных горных хребтов.

*Обмен угловым моментом между тропиками  
и средними широтами*

По диаграмме средней зональной циркуляции, которую использовал в своих работах Старр, в обоих полушариях в средних широтах над поверхностью присутствуют западные потоки, в низких широтах — восточные. Принимая во внимание то, что земля и океаны вращаются как твердая сфера, трение и горное торможение будут замедлять и восточные и западные потоки так, что поверхность земли в тропиках будет источником западного момента для атмосферы, а в средних широтах она будет их поглощать. Угловой мо-

мент выносится высоко в атмосферу преимущественно под действием средних меридиональных поворотов, как было выведено Лоренцем (1967). Но на уровне потоков угловой момент трансформируется от низких к средним широтам через наклонные ложбины и гребни (ЮЗ—СВ в северном полушарии и ЮВ—СЗ в южном полушарии).

В результате того, что большая часть земной поверхности покрыта океанами, где поверхностные ветры также очень сильны, большое количество углового момента атмосферы должно быть потеряно в океанах средних широт в общем цикле. Если будут использоваться типичные значения скоростей в океанах, то любой возможный перенос по направлению север—юг будет меньше на один или два порядка. Однако вместо этого напряжение трения океанических ветров приводит к изменениям уровня моря с обеих сторон океанов и преобразованию получаемого углового момента поперечно к континентам через «континентальные» моменты вращения, что очень схоже с горными моментами вращения.

По Старру все вращательные моменты сфокусированы на континентах с тенденцией «вращать» континент по часовой стрелке в северном полушарии и против часовой стрелки — в южном. Необходимо уточнить, что подобные вращательные моменты должны действовать на континенты веками. Таким образом, существуют несколько гипотетических сценариев.

1. Континенты могут медленно перемещаться под действием вращательных моментов по принципу континентального дрейфа.
2. Континенты сильно «заякорены» в земной коре так, что они могут противостоять продолжительно действующим силам вращения.
3. Континенты могут время от времени сбрасывать это напряжение через внутренние перемещения. По последнему сценарию можно предположить, что линии разломов в северном полушарии преимущественно наклонены в ЮВ—СЗ направлении, а в южном полушарии в ЮЗ—СВ. Эти наклоны имеют правосторонний угол с соответствующими наклонами в атмосфере. Когда такие перемещения имеют место вдоль разломов, в данных местах можно ожидать большую геологическую активность, такую как землетрясения.

*Namias J. A.* (1988) представил некоторые свидетельства о том, что определенное распределение давления над Тихим океаном и Северной Америкой может коррелировать с землетрясениями в Южной Калифорнии. Интересно, что модели землетрясений, показанные им, имеют тенденцию усиливать обычный отрицательный момент вращения над Скалистыми горами.

В конце 1970-х гг. А. С. Чихачев и А. А. Чихачев [72] высказали гипотезу о гравитационном происхождении вихря и в последующем была открыта новая закономерность связи возникновения, движения и затухания циклонического вихря с аномальными ускорениями силы тяжести Земли и их вариациями под влиянием небесных тел (Луна, Солнце). Гипотеза получила подкрепление в начале 1980-х гг., когда по данным американского космического корабля «Вояджер-1» было подтверждено, что Большое красное пятно на планете Юпитер, расположенное в низких широтах, является постоянно действующим стационарирующим антициклоническим вихрем.

В дальнейшем была достигнута уверенность, что одной из главных причин возникновения атмосферных вихрей является неоднородности гравитационного поля Земли, или аномалий силы тяжести, и возникающие за счет них горизонтальные ускорения.

Физическая сущность данного открытия заключается в том, что в связи с плотностной неоднородностью литосферы на гладкую составляющую общего земного эллипсоида вращения накладывается сложная потенциальная поверхность геоида. В результате чего возникают градиенты аномалий и горизонтальные составляющие ускорения силы тяжести, которые совместно с изобарическим полем образуют кольцо сил, генерирующих вихри различных масштабов, — от локальных кратковременных и смерчевых циклонов до тропических циклонов и циклонов средних широт.

Отсюда, гравитационное поле Земли является, таким образом, тем фундаментом, структура и свойства которого во многом определяют поведение атмосферы. В свою очередь, гравитационное поле отражает характер распределения масс в недрах Земли и тесно связано с ее формой.

### 2.3. Методы исследований параметров атмосферной циркуляции

Исследования параметров атмосферной циркуляции возможны, в данном случае осуществлены, по крайней мере, по двум направлениям:

- количественная оценка интенсивности и направленности переносов воздушных масс;
- изучение особенностей синоптических процессов в их непрерывном развитии.

Первое направление предполагает расчет индексов А. А. Каца с последующим анализом и их тенденциями во внутригодовом и среднемноголетнем выражении для изучаемой территории. Для второго направления применена типизация синоптических процессов Г. Я. Вангенгейма, что позволяет дополнить качественной интерпретацией рассчитанные параметры переносов.

#### 2.3.1. Индексы А. А. Каца

Индексы атмосферной циркуляции А. Л. Каца [73] позволяют осуществить дифференцированный учет особенностей макрометеорологических процессов. Они были применены в данном исследовании для количественной оценки интенсивности и знаков зонального и меридионального переносов для средних и аномальных (в случаях опасных явлений погоды) условий.

Интенсивность зональной составляющей геострофического ветра определяется меридиональной компонентой градиента давления. Откуда меридиональный перенос обусловлен зональной составляющей градиента давления.

Индексы зональной ( $I_z$ ) и меридиональной ( $I_m$ ) циркуляции могут быть вычислены по следующим формулам:

$$I_z = bn/(\varphi_2 - \varphi_1) i, \quad (8)$$

$$I_m = bmk/(\lambda_2 - \lambda_1) j, \quad (9)$$

где  $i$  — число меридианов, использованных для определения меридионального градиента давления в широтной зоне между  $\varphi_1$  и  $\varphi_2$ ;  $n$  — число пересечений изобарами меридианов;  $j$  — число параллелей.

лей, использованных для определения зонального градиента давления в районе между меридианами  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ ;  $m$  — число пересечений изобарами параллелей;  $k = 1/\cos \varphi$  — множитель, учитывающий изменение длины каждого отрезка параллели, постоянный для каждой широты.

Положительные значения индекса зонального переноса соответствуют случаю преобладания западной его составляющей, отрицательные значения — случаю преобладания восточной соответственно.

Положительные значения индекса меридионального переноса фиксируют преобладание южных переносов, отрицательные в свою очередь — северных.

Кроме того, рассчитанные индексы позволяют установить начало и проследить продолжительность переносов тех или иных знаков. Так, например, северо-южный перенос или отрицательная меридиональная циркуляция способствуют адвекции холода на исследуемую территорию. При этом, очевидно, что положительная зональная циркуляция или западно-восточный перенос будут содействовать этому вторжению.

### 2.3.2. Типизация Г. Я. Вангенгейма

Особенностью классификации Г. Я. Вангенгейма [75] является возможность учета основных особенностей синоптических процессов над Атлантико-европейским сектором, а также циркуляционный фон северного полушария. Кроме того, в данном случае синоптические процессы рассматриваются в их непрерывном развитии.

Всего было выделено 26 типов синоптических процессов, которые объединены в 3 основные формы: западная (*W*); меридиональная (*C*); восточная (*E*). Некоторые типы характеризуются двухстадийностью развития. В первой стадии таких типов, которая обозначается индексом «а», происходит формирование холодных и низких антициклонов в северных районах Европы и Западной Сибири. Во второй стадии «б» происходит стационарирование антициклонов в более южных районах. В отдельных случаях смещение антициклонов происходит ускоренно, весь процесс укладывается в один элементарный синоптический процесс (ЭСП) и тогда такой ЭСП характеризуется индексом «аб».

Западная форма циркуляции (*W*) характеризуется усилением западно-восточного переноса во всей толще тропосферы. В периоды развития этой формы в средней тропосфере изогипсы принимают почти зональное распределение по всему северному полушарию. В высоких широтах у поверхности Земли при этой форме развивается область низкого давления, а в умеренных и субтропических широтах — область высокого давления. Градиенты давления и температуры при *W*-форме направлены с юга на север и значительно больше среднемноголетних. Следовательно, циркуляция атмосферы в эти периоды усилена, а межширотный обмен воздушными массами ослаблен. В связи с этим по мере развития формы *W* отмечается прогрессивное охлаждение в арктических районах и нагрев в умеренных и субтропических широтах, то есть нарастание контрастов температуры между низкими и высокими широтами. Для формы *W* характерно формирование отрицательного очага аномалий давления и температуры в приполярных районах и положительных очагов в умеренных широтах.

Восточная форма циркуляции (*E*) характеризуется формированием в тропосфере устойчивых волн большой амплитуды с градиентами, направленными широтно. У поверхности Земли в эти периоды развиваются стационарные антициклоны, которые нарушают западно-восточный перенос воздушных масс и барических образований и поэтому получили название блокирующих центров. При *E*-форме нарушение западно-восточного переноса и формирование волн большой амплитуды обычно происходит над континентами. В Тихом и Атлантическом океанах при этом сохраняются значительные зональные составляющие. Наличие волн большой амплитуды способствует глубокому межширотному воздухообмену.

Меридиональная форма циркуляции (*C*) характеризуется формированием устойчивых стационарных волн большой амплитуды и усиленным межширотным воздухообменом. Однако географическая локализация гребней и ложбин при этой форме почти обратна восточной форме. Так, при развитии меридиональной формы отмечается формирование высокого теплого антициклона над восточной частью Атлантики и Западной Европой. Над Европейской территорией России (ЕТР) в эти периоды в средней тропосфере располагается глубокая ложбина, которой у поверхности Земли соответствует область пониженного давления. Часто при *C*-форме Сибирский анти-

циклон бывает теплым и высоким. В таких случаях он формируется под влиянием адвективно-динамических процессов в толще атмосферы и в значительно меньшей степени в связи с термическим влиянием подстилающей поверхности. При развитии *С*-формы характерно заполнение Исландского и Алеутского минимумов и распространение на эти районы гребней субтропических антициклонов, центры которых смещаются к северу. Таким образом, при *С*-форме в отличие от *Е*-формы над Атлантическим и Тихим океанами отмечаются значительные меридиональные переносы воздушных масс и барических образований. Разновидности *Е*- и *С*-форм отмечаются главным образом ориентацией и интенсивностью гребней и ложбин.

#### *Разновидности формы W [74]*

1. Западный перенос.
2. Движущийся антициклон.
3. Движущаяся полоса высокого давления.
4. Стационарная, второе положение.

#### *Разновидности формы E*

1. Восточная седловина.
2. Двинская северо-восточная: «а» и «б».
3. Восточная первая.
4. Карская северо-восточная первая: «а» и «б».
5. Карская северо-восточная третья: «а» и «б».
6. Карская северо-восточная четвертая: «а» и «б».
7. Стационарная, шестое положение.

#### *Разновидности формы С*

1. Лапландская первая: «а» и «б».
2. Лапландская вторая: «а» и «б».
3. Северо-западная седловина.

#### *Разновидности, встречающиеся при формах E и W.*

1. Североскандинавская: «а» и «б».
2. Карская: «а» и «б».
3. Стационарная, четвертое положение.

4. Стационарная, пятое положение
5. Гренландская
6. Пояс высокого давления
7. Канинская

*Разновидности, встречающиеся при формах С и W.*

1. Стационарная, третье положение
2. Английская первая
3. Английская вторая
4. Английская южнскандинавская: «а» и «б»
5. Южнскандинавская первая
6. Южнскандинавская вторая
7. Среднскандинавская: «а» и «б»

*Разновидности, встречающиеся при формах E и C.*

1. Скандинавская северо-восточная
2. Меридиональная первая: «а» и «б»

### **3. Теория случайных процессов и ее применение для исследования хронологических рядов опасных явлений погоды**

#### **3.1. Обзор методов математической статистики для изучения хронологических рядов**

Обработка первичных данных метеорологических наблюдений производилась на основе методов математической статистики и теории вероятностей. Использовались известные опубликованные источники научной информации по данному вопросу, среди которых работы Н. В. Кобышевой, Г. Я. Наровлянского, А. А. Исаева [75–81]. А также компьютерные статистические программы SPSS 9.0, Excel. При этом учитывалось, что хронологические ряды с длительным периодом наблюдений имеют объективные неоднородности, обусловленные изменениями окружающих условий. По результатам метеорологических наблюдений (Метеорологические ежедневники и ежегодники) были составлены статистические совокуп-

ности числа случаев опасных явлений погоды, представленные в виде простых статистических рядов. Впоследствии использовалось обобщение многолетних наблюдений в виде статистического распределения, которое состояло в группировке числовых значений явлений по определенным градациям (интервалам). При этом вычислялись численности интервалов: абсолютная ( $m_i$ ) и относительная ( $p_i$ ) частоты, с использованием известных формул:

$$\sum_1^k m_i = n, \quad (10)$$

где  $n$  — объем статистической совокупности (в данном случае 30 лет).

Для характеристики режима опасных явлений погоды употреблялись следующие виды климатических показателей:

- отдельные показатели опасных явлений;
- комплексные показатели;
- показатели временной структуры опасных явлений погоды.

Среди отдельных показателей опасных явлений погоды рассматривались: относительная частота (повторяемость), средние значения (среднее арифметическое) числа случаев явлений, максимальные и минимальные значения, показатели изменчивости. Характеристики изменчивости — среднее квадратическое отклонение ( $\sigma$ ) и дисперсия ( $D$ ) — определялись по формулам:

$$\sigma = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_1^n (\chi_i - \bar{\chi})^2}, \quad D = \sigma^2, \quad (11)$$

где  $n$  — объем выборки (30 лет),  $\chi_i$  — число случаев отдельного опасного явления,  $\bar{\chi}$  — среднее значение;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение;  $D$  — дисперсия.

Из комплексных показателей употреблялись расчеты коэффициентов корреляции ( $r$ ), служащих мерой тесноты прямолинейной корреляционной связи между отдельными величинами (числом опасных явлений и отдельными географическими параметрами):

$$r = \frac{\sum_1^n (\chi_i - \bar{\chi})(\gamma_i - \bar{\gamma})}{n\sigma_x\sigma_y}, \quad (12)$$

где  $\chi_i$  — число случаев отдельного явления;  $\bar{\chi}$  — среднее значение;  $\gamma_i$  — географический параметр (количественное выражение);  $\bar{\gamma}$  — среднее значение;  $n$  — объем выборки;  $\sigma_x$  — среднее квадратическое отклонение числа случаев отдельного опасного явления;  $\sigma_y$  — среднее квадратическое отклонение для отдельного географического параметра.

Значения вычисленных коэффициентов корреляции заключены в пределах  $-1 > 0 < 1$ . Отрицательные величины свидетельствуют о наличии обратной связи между элементами, положительный знак — о прямой связи.

Для определения точности полученных расчетов определялись средние ошибки вычислений, представляемых в виде средних квадратических отклонений полученных значений из совокупности данного объема (30 лет). Теория ошибок статистических характеристик для связанных рядов разрабатывалась Слуцким Е. Е. В настоящее время известными работами по данному вопросу являются исследования Алексеева Г. А. Таким образом, средняя ошибка среднего арифметического при условии стационарности исходного ряда вычисляется по формуле:

$$\sigma_{x-} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\left(1 + \frac{2}{n} \sum_{k < l} r_{kl}\right)}, \quad (13)$$

где  $\sigma_x$  — среднее квадратическое отклонение значения  $x$ ;  $n$  — общий объем выборки;  $r_{kl}$  — сумма коэффициентов корреляции для  $k$  и  $l$  — членов хронологического ряда.

Средняя ошибка дисперсии записывается в следующем виде:

$$\sigma_{\sigma^2} = \frac{\sigma_{z2}}{n} \sqrt{\left(1 + \frac{2}{n} \sum_{k < l} r_{z2k z2l}\right)}, \quad (14)$$

где  $z_k^2 = (x_k - \bar{x})^2$ , где  $\sum r_{z2k z2l}$  — сумма всех возможных коэффициентов парной корреляции между  $k$  и  $l$  членами хронологического ряда.

Ошибка среднего квадратического отклонения представляется в следующем виде:

$$\sigma_{\sigma} \approx \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1 + r_l^2}{1 - r_l^2}}. \quad (15)$$

где  $\sigma_x$  — среднее квадратическое отклонение значения  $x$ ;  $n$  — общий объем выборки;  $r_1^2$  — квадрат коэффициента корреляции.

Рассмотренные выражения позволяют получить средние значения статистических ошибок, более полное представление о точности вычисленных показателей дают их доверительные границы. Для их установления требуется знание закона распределения соответствующих показателей. В данном случае с известной долей допущения считалось, что опасные явления распределены по закону Пуассона и по нормальному закону (так как объем совокупности  $n = 50$ ). Известно, что для случайной величины, распределенной нормально, среднее арифметическое значение распределяется по закону Стюдента, среднее квадратическое отклонение — по распределению  $\chi^2$ , коэффициент корреляции — по закону Фишера.

На заключительном этапе исследований было произведено обобщение полученных результатов, полученных для отдельных точек (метеостанций) в горизонтальной плоскости, для изучения географических закономерностей распределения повторяемостей аномалий на равнинах юга ЕТР. При этом применялся известный метод интерполяции (площадного осреднения), описанный Р. Л. Каганом, с последующей оценкой его точности. Процесс построения районирования складывался из нескольких этапов: выделялись наиболее характерные ОЯ для исследуемого объекта (равнин юга ЕТР); устанавливались критерии районов по рассчитанным повторяемостям; определялись границы между ними. На последнем этапе по известным методам были построены изолинейные карты с указанием выделенных районов.

### 3.2. Ряды опасных явлений погоды как колебательная система

Атмосфера как динамическая система отличается колебательными движениями, которые являются своего рода проявлениями ее эволюционного развития. Повторяемости опасных явлений погоды, очевидно, также имеют циклический характер. Проявления данных колебаний, возможно, во временном отношении будут совпадать с циклами существования циклонов. Так как выявлена зависимость между количеством опасных явлений погоды и циклонической деятельностью.

Проверку и установление периодов колебаний или цикличности будем производить согласно существующим методам. Среди которых: изучение однородности, стационарности и марковости ряда; расчет критериев Аббе; анализ автокорреляционных функций.

### 3.2.1. Анализ однородности, стационарности абсолютных вероятностей и марковости рядов

Будем считать, что физический процесс состояния нижней части тропосферы, неустойчивость которого реализуется в виде возникновения искомых явлений, представляет собой некоторый случайный процесс с  $i$  — состоянием (неустойчивости тропосферы при наличии опасных явлений), развивающийся в  $j$  — возможное состояние (устойчивость тропосферы, отсутствуют явления). Схематично это утверждение может быть выражено следующим образом:  $\Phi - X - C_{ij}$ , где  $\Phi$  — реальный физический процесс нижнего слоя тропосферы;  $X$  — непрерывный случайный процесс;  $C_{ij}$  — процесс с  $m$  состояниями, получающийся факторизацией процесса  $X$  [82]:

$$C_{ij}(t) = i, \text{ если } a_{i-1} < X(t) \leq a_i, \quad (16)$$

где  $a_0, a_1, \dots, a_m$  — частоты опасных явлений погоды, при  $i$  — состоянии принимают положительные значения от 1 до  $m$ , при  $j$  — состоянии равны 0;  $t$  — промежуток времени с 1950 по 2000 год, временной шаг равен 1 году.

Отсюда данный случайный процесс  $C_{ij}(t)$  с дискретным временем  $t = 1950, \dots, 2000$  гг. и двумя возможными конечными состояниями  $i$  (1, 2, ...,  $m$ ) и  $j$  (0) будем предполагать простой цепью Маркова, если существуют вектор  $p^{(0)} = (p^{(0)}_1, \dots, p^{(0)}_2)$  и последовательность квадратных матриц  $\{A_t\}$  порядка  $ij$ :

$$A_t = \{p_{ij}(t)\}_{ij=1}^j \quad (t = 1950, \dots, 2000), \quad (17)$$

такие, что для любого момента времени  $t = k \geq 0$  вероятность каждой реализации процесса  $i_0, i_1, \dots, i_k$ , где каждое из  $i_l$  ( $0 \leq l \leq k$ ) есть одно из чисел  $m$  (состояний объекта исследования), может быть вычислена по формуле:

$$Pr \{i_j(0) = i_0, \dots, C_{ij}(k) = i_k\} = p_{i_0}^{(0)} \prod_{l=1}^k p_{i_l i_{l-1}}. \quad (18)$$

В данном случае  $Pr$  обозначается вероятность опасных явлений погоды, при  $k = 0$ , как обычно, считается, что правая часть уравнения равна  $p_{i0}^{(0)}$ .

Из формулы (18) вытекает соотношение для условных вероятностей:

$$\begin{aligned} Pr\{C_{ij}(t+1)=j \mid C_{ij}(t)=i, \dots, C_{ij}(t-t')=1\} &= Pr\{C_{ij}(t+1)=j \mid C_{ij}(t)=i\} = \\ &= p_{ij}(t+1) \\ (0 \leq t, 0 \leq t' \leq t), \end{aligned} \quad (19)$$

То есть, условная вероятность того, что процесс  $C_{ij}$  в момент времени  $t+1$  будет находиться в состоянии  $ij_m$  при условии, что в предыдущий момент времени  $t$  он находился в состоянии  $ij_0$ , не зависит от того, в каких состояниях находился процесс в более ранние моменты времени  $t-1, \dots, 0$ . Откуда, будем предполагать, что рассматриваемый физический процесс, а именно, состояние нижней тропосферы, представляет собой простую цепь Маркова, для которой распределение вероятностей в будущем полностью определяется настоящим и не зависит от прошлого [83].

Еще одним важным свойством цепей Маркова, полезным для целей прогнозирования, является эргодичность. Для эргодических цепей существует предел:  $\lim A^k = A$ , где  $A$  — стохастическая матрица с одинаковыми строками, равными  $p^T$  [84]. При этом вектор  $p$  удовлетворяет уравнению:  $A^T p = p$ , то есть вектор стационарного распределения является собственным вектором матрицы  $A^T$ , соответствующим собственному значению 1. Отсюда, для любых  $i, j$  ( $1 \leq i, j \leq m$ ) существует  $\lim p_{ij}^{(k)} = p_j$  ( $i, j = 1, \dots, m$ ). То есть, эргодическая цепь является устойчивой, если абсолютные вероятности в любой момент времени совпадают с финальными:  $p_{kj} = p_j$ ,  $1 \leq j \leq m, 0 \leq k$  [85].

Предположим, что полученные переходные вероятности появления опасных явлений погоды будут строго положительными, значит, условие устойчивости будет эквивалентно условию равенства соответствующих начальных и финальных вероятностей:  $p^{(0)} = p$ . При осуществлении последнего замечания, однородная устойчивая цепь Маркова является стационарным случайным процессом [86]. Констатация эргодичности цепи Маркова позволит осуществлять прогноз на основании сечения данного стационарного процесса в любой точке (при достаточно длинной реализации цепи) [87].

Т. о., произведем исследование трех гипотез:

1. Гипотезы о стационарности абсолютных вероятностей данного физического процесса.
2. Гипотезы об однородности данной цепи Маркова.
3. Гипотезы о марковости цепи в предположении ее стационарности (способ триад).

Проверка гипотезы о стационарности абсолютных вероятностей предполагает разбивку имеющихся отрезков или всей совокупности длиной  $(k + 1)$  на  $l$  непересекающихся кусков;  $n_i^s$  — число появлений состояния  $i$  в  $s$ -м куске ( $1 \leq i \leq m$ ,  $1 \leq s \leq l$ );  $n_s$  — длина  $s$ -го куска (равна для выбранных 1981, 1994, 1995 и 1998 гг. одному дню; для всей совокупности — одному году);  $m$  — конечное число опасных явлений погоды на рассматриваемом отрезке;  $p_i^{\wedge} = \sum_s n_i^s / (k + 1)$ . Тогда при справедливости данной гипотезы  $H_0$  статистика:

$$t_1 = \sum_{s=1}^l \sum_{i=1}^m (n_i^s - n_s \hat{p}_i)^2 / (n_s \hat{p}_i) \quad (20)$$

имеет асимптотическое  $\chi^2$  — распределение с  $(m - 1)(l - 1)$  степенями свободы (т. к. имеется 2 состояния  $i$  и  $j$ , то данное  $m = 2$ ).

Гипотеза об однородности цепи Маркова была проверена, исходя из следующих соображений. Пусть проверяемая реализация разбита на две непересекающиеся части (куска);  $f_{ij}$ ,  $q_{ij}$  — число переходов цепи из состояния  $i$  в состояние  $j$  в первом и втором кусках соответственно;  $f_i = \sum_j f_{ij}$ ;  $q_{ij} = \sum_j q_{ij}$ ;  $(p_{ij})$ ,  $(q_{ij})$  — соответствующие оценки переходных вероятностей;  $m$  — конечное число опасных явлений погоды на рассматриваемом отрезке. Тогда  $\chi^2$  — статистикой для проверки гипотезы  $H_0 : p_{ij} = q_{ij}$  ( $i, j = 1, \dots, m$ ) (однородность) является величина:

$$t_2 = \sum_{i,j=1}^m (f_i + q_i) / (f_{ij} + q_{ij}) (f_{ij} / f_i - q_{ij} / q_i)^2, \quad (21)$$

имеющая при справедливости  $H_0$  асимптотическое  $\chi^2$  — распределение с  $m(m - 1)$  степенями свободы.

Наконец, гипотеза о марковости цепи в предположении ее стационарности (способ триад), была реализована следующим образом. Выбранные ряды были разбиты на  $(k - 1)$  триаду исходов с по-

следовательными номерами  $i_0, i_1, i_2, i_1, i_2, i_3, \dots; i_{k2}, i_{k-1}, i_k$ . Через  $n_{ij}^{(l)}$  обозначим число триад, имеющих вид  $ilj$ . Положим далее

$$n_i^{(l)} = \sum_j n_{ij}^{(l)}, \quad n_j^{(l)} = \sum_i n_{ij}^{(l)}, \quad n^{(l)} = \sum_{ij} n_{ij}^{(l)} \quad (22)$$

и вычислим величины

$$n_{ij}^{(l)} = (n_i^{(l)} n_j^{(l)}) / n^{(l)}. \quad (23)$$

Тогда статистики

$$\chi_{(l)}^2 = \sum_{i,j} (n_{ij}^{(l)} - n_{ij}^{(l)})^2 / n_{ij}^{(l)} \quad (24)$$

в случае выполнения гипотезы марковости имеют асимптотическое  $\chi^2$  — распределение с  $(m-1)^2$  степенями свободы.

### 3.2.2. Неслучайность колебаний в рядах с использованием критериев систематического ряда

В природе распространены, очевидно, как относительно бессвязные, так и в известной степени закономерные колебания тех или иных гидрометеорологических величин. Возможность экстраполяции будущих значений существует даже при случайных колебаниях, носящих бессвязный характер. В этом случае могут экстраполироваться на будущее только средние показатели, а также уровень ряда, его дисперсия, повторяемость отдельных значений, при наличии их устойчивости. Как указывает большинство авторов, источниками этих колебаний могут быть как внешние причины, так и внутренние, присущие непосредственно самому ряду. В первом случае это космические, включая солнечную активность, и геофизические факторы. Во втором — корреляционные соотношения между членами ряда, то есть факторы, обусловленные стохастичностью природы. Вероятно, эти два источника взаимодействуют между собой, определяя весьма неоднозначный характер распространенных в природе колебаний. Отсюда, и изменение или своеобразная цикличность колебательных движений гидрометеорологических величин, которые могут переходить во времени из аperiodических в периодические. Например, элементарным связным аperiodическим рядом является простая цепь Маркова. Сложные цепи Маркова предполагают зависимость последующего члена от нескольких предыдущих, и

в пределе можно представить процесс, зависящий от всей предыстории. Стационарными процессами считаются те, у которых вероятностные характеристики связи во времени однородны. Эти процессы наиболее часто используют как приближение к ходу естественных природных явлений. Колебания, вызываемые этим типом связи, носят циклический характер. Однако, они в общем случае аperiodичны, так как фаза и амплитуда циклов в процессе изменяются от цикла к циклу. Поскольку потенциально они могут включать всевозможные периоды, то характер процесса математически выражается в общем случае через интеграл Фурье.

Отсюда, в природной среде имеют распространение квазипериодические колебания, имеющие способность в течение длительного срока преобразовываться из периодических в аperiodические и наоборот.

В рамках данного исследования хронологические ряды аномальных явлений погоды рассматривались как некоторый случайный процесс, управляемый вероятностными законами. Предполагалось, что данный процесс является стационарным с присущим ему свойством эргодичности. Кроме того, колебания в рядах аномалий носят характер квазипериодических, источниками которых, безусловно, являются как космические и геофизические, так и внутренние, обусловленные стохастичностью атмосферы как части природной среды. В связи с чем определялись наиболее важные показатели:

- автокорреляционные функции;
- выявление случайности процесса (расчет критериев Аббе);
- скользящее осреднение и прогнозирование дальнейших значений.

Автокорреляционная функция характеризует связь членов ряда между собой и вычисляется по формуле:

$$K_{kl} = \frac{\sum_{i=1}^n [\chi_i(t_k) - \bar{\chi}(t_k)][\chi_i(t_l) - \bar{\chi}(t_l)]}{n-1}, \quad (25)$$

где  $\chi_i$  — число случаев отдельного опасного явления;  $t_k$  и  $t_l$  — заданные моменты времени;  $\bar{\chi}$  — среднее значение;  $n$  — объем выборки.

Из статистических критериев, позволяющих установить связь между элементами хронологических рядов, определялись критерии Аббе, учитывающие величину различий между отдельны-

ми членами ряда. Выбор данных критериев был обусловлен тем, что расстояния между элементами рядов были равными. При этом рассматривались особенности расположения членов, обнаруживаемые при сопоставлении каждого члена ряда с последующим или предыдущим. Подсчитывалось число серий, математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение распределения серий. Определялось нормирование отклонения числа серий от ожидаемого значения стандартной нормальной переменной в проверяемом ряду. Задавались уровни значимости  $\beta$ , причем для случайного ряда считалось, что выполняется неравенство  $t_s \leq t_\beta$ . В качестве особенности ряда для первого критерия принималось во внимание наличие любой тенденции к группировкам членов ряда. Второй критерий использовался для проверки имеющихся устойчивых тенденций изменения значений ряда. Третий критерий способствовал проверке преобладаний положительных или отрицательных отклонений от среднего.

Математические ожидания числа серий для трех указанных случаев рассчитывались соответственно по формулам:

$$M_{s1} = \frac{n(n+1) - \sum m_i^2}{n}, \quad (26)$$

где  $n$  — объем выборки;  $m_i$  — частота градации.

$$M_{s2} = \frac{2n-1}{3}, \quad (27)$$

где  $n$  — объем выборки.

$$M_{s3} = \frac{n-1}{2}, \quad (27)$$

где  $n$  — объем выборки.

Средние квадратические отклонения определялись:

$$\sigma_{s1} = \sqrt{\frac{\sum m_i^2 [\sum m_i^2 + n(n+1)] - 2n \sum m_i^3 - n^3}{n^2 (n-1)}}, \quad (29)$$

где  $m_i$  — частота градаций;  $n$  — объем выборки.

$$\sigma_{s2} = \sqrt{\frac{16n - 29}{90}}, \quad (30)$$

где  $n$  — объем выборки.

$$\sigma_{s3} = \sqrt{\frac{n+1}{12}}, \quad (31)$$

где  $n$  — объем выборки.

Нормирование отклонений числа серий вычислялись:

$$t_s = \frac{|S + 0,5 - M_s|}{\sigma_s}, \quad (32)$$

где  $s$  — число серий отклонений от среднего;  $M_s$  — математическое ожидание числа серий отклонений от среднего;  $\sigma_s$  — среднее квадратическое отклонение числа серий.

Нормированное отклонение наименьшего числа знаков рассчитывались:

$$t_s = \frac{[M_s - (s + 0,5)]}{\sigma_s}, \quad (33)$$

где  $M_s$  — математическое ожидание для нормированного отклонения наименьшего числа знаков;  $s$  — число серий наименьшего числа знаков;  $\sigma_s$  — среднее квадратическое отклонение наименьшего числа знаков.

Положительным свойством рассмотренных критериев является то, что, применяя их, можно проследить накопление отличий от случайного по мере накопления информации при неизменной структуре ряда.

В связных метеорологических рядах марковского типа как простого, так и сложного наблюдаются колебания уровней значимости элемента. Эти колебания объединяются под общим названием циклических, или ритмических, колебаний. По определению О. А. Дроздова цикличность представляет собой «колебания связных величин различной степени регулярности при условии существования математических ожиданий параметров этих колебаний».

После установления цикличности применялось скользящее осреднение с вычислением прогнозируемых значений. Данные расчеты правомернее производить только в случаях стационарных случайных процессов. Под которыми понимают такие хронологические процессы, в которых математическое ожидание не зависит от време-

ни, а корреляционная функция является функцией только интервала времени. С известной долей допущения предполагалось, что данные ряды опасных явлений в общем виде являются стационарными. Хотя известно, что реальные природные процессы никогда не бывают полностью стационарными. Понятие статистического прогноза связано с задачей экстраполяции (интерполяции) и сглаживания случайного процесса. Причем очевидно, что оценка реализации в будущем в некоторый момент времени не может быть вычислена по точной формуле, а описывается в вероятностных терминах. Наиболее широкое применение (в гидрометеорологии называется инерционным прогнозом) получил метод прогноза по последнему значению. При этом в качестве предсказанного значения  $\hat{\chi}(t_0 + \theta)$  принимается значение  $\chi(t_0)$ :

$$\hat{\chi}(t_0 + \theta) = \chi(t_0), \quad (34)$$

где  $\hat{\chi}(t_0 + \theta)$  — предсказанное значение;  $\chi(t_0)$  — последнее зарегистрированное значение величины  $\chi$ . Причем в данном случае не учитывается предыстория прогноза и вероятностные характеристики. Алгоритм прогноза заключается в умножении последнего наблюдения  $\chi(t_0)$  на единицу. Возможная ошибка вычислений приобретает вид:

$$e(t_0 + \theta) = \chi(t_0 + \theta) - \chi(t_0), \quad (35)$$

где  $e(t_0 + \theta)$  — возможная ошибка;  $\chi(t_0 + \theta)$  — предсказанное значение;  $\chi(t_0)$  — последнее значение величины  $\chi$ , а ее средний квадрат  $e^{-2}$ , если  $m_x = \theta$ :

$$\begin{aligned} e^{-2}(\theta) &= M\{[\chi^-(t + \theta) - \chi(t)]^2\} = \sigma_x^2 - 2r_x(\theta) + \sigma_x^2 = \\ &= 2[\sigma_x^2 - r_x(\theta)], \end{aligned} \quad (36)$$

где  $M$  — математическое ожидание значения  $\chi$ ;  $\chi^-$  — среднее значение;  $\sigma_x^2$  — квадрат среднего квадратического отклонения значения  $\chi$ ;  $r_x$  — коэффициент корреляции для значения  $\chi$ . Средний квадрат ошибки прогноза растет от  $\theta$  при  $\theta = 0$ , когда  $r_x(0) = \sigma_x^2$ , до  $2\sigma_x^2$  при  $\theta = \infty$ , когда  $r_x(\infty) = 0$ .

### 3.2.3. Автокорреляционные функции

Построение трендов и выявление цикличности в хронологических рядах метеозлементов представляет собой одну из важных задач данного исследования. Однако вышеперечисленные действия возможны только в случаях установления связности между элементами статистических рядов. Если корреляцию определить не удастся, то, очевидно, цикличности данного процесса или явления не существует и прогнозирование развития последнего возможно только для настоящего интервала времени.

В ряде работ по статистическим исследованиям метеоявлений и процессов констатируется, что ряды последних не образуют полностью случайной последовательности. Однако тенденция к группировке наиболее четко выражена в суточных рядах элементов. С увеличением хронологического промежутка эта тенденция ослабевает.

По рассчитанным коэффициентам корреляции строится автокорреляционная функция, по виду которой и определяют наличие зависимости. Экспоненциальность данной кривой свидетельствует о связности по типу простого марковского процесса (характерна для ежедневных данных).

Относительно месячных и годовых статистических рядов и зависимостей между их элементами единого мнения не существует. Однако по мнению Кайсла (1972) колебания метеовеличин данных рядов можно рассматривать как «белый шум», то есть как чисто случайные колебания. При этом любые два сечения этой случайной функции не коррелированы. Если в отдельные годы связность значений метеозлементов осуществляется по типу простой цепи Маркова, то возможно утверждать наличие «красного шума». То есть колебания не являются чисто случайными, некоторые зависимости установить можно.

Критериями, позволяющими проверить, является ли ряд бесвязным, являются:

- вычисление коэффициентов корреляции между двумя несмежными членами ряда;
- построение автокорреляционной функции и ее анализ (на предмет экспоненциальности);
- вычисление критериев Аббе (теоретическая основа последних была разработана Вейнбергом (1929) и Омшанским (1936)).

Под критериями Аббе понимают вычисление трех групп показателей:

- подсчитывается число серий (любые изменения в ряде);
- определяют математическое ожидание, стандартное отклонение и нормирование отклонения числа серий от ожидаемого значения стандартной нормальной переменной:  $M_s$ ,  $\sigma_s$ ,  $t_s$ ;
- задается уровень значимости  $\beta$  (рассчитывают вероятность значения  $t_s$ ) и определяют  $1 - \beta$ ;
- анализируют неравенство  $t_s \leq t_\beta$ ; если последнее выражение не соблюдается, то ряд не случаен (по данному критерию).

#### 3.2.4. Цикличность рядов как естественное свойство колебательной системы

Цикличность природной среды очевидна и является основным свойством, обуславливающим ее эволюционное движение. Проявляясь, прежде всего в регулярной смене дня и ночи, времен года и в наличии других циклов, включая галактический год [88–89].

Кроме того, цикличность является единственным способом сжатия информации, которое возникает путем восстановления исходного состояния с помощью колебаний или волн. Колебания и волны, в свою очередь, являются признаками вращательного движения. Отсюда, вращательное движение является показателем периодического воздействия на среду, и, следовательно, сложение нелинейных возникших в ней колебаний может вызвать разного рода резонансные явления и автоколебания.

Периодичность атмосферы как одной из геосфер Земли также не вызывает сомнений. Откуда, очевидно, циркуляция и, следовательно, формирование глобальных и локальных вихрей — циклонов и антициклонов — также отличается цикличностью развития. Таким образом, опасные явления погоды, представляющие собой эффект разрешения неустойчивости атмосферы, чаще всего обуславливаемые циклоническими образованиями, цикличны. В данном случае это логично и является следствием закона детерминизма.

### 3.3. Подходы к управлению рисками опасных явлений погоды

Представления об атмосфере как о сложной динамической системе с присущим ей эволюционированием позволяет применять для исследований рисков опасных явлений погоды, в ней возникающих, системный подход. В этом смысле можно относить опасные явления погоды, развивающиеся в нижнем слое атмосферы, как своего рода проявление ее системных свойств, то есть тех ее особенностей, которыми обладает только сама система — атмосфера.

Существует множество подходов к определению понятия «риск». В данном случае будем считать, что риск — это неопределенность, связанная с появлением тех или иных опасных явлений погоды. При этом, формально неопределенность отличается от определенности тем, что последняя предполагает наличие фиксированной группы входных сигналов — одно состояние среды. Тогда как неопределенности свойственен некоторый диапазон возможных множеств условий среды, которые могут вызвать более, чем одно состояние входных воздействий [90]. Неопределенности отсюда можно сопоставить следующую модель. Фиксируется некоторый комплекс условий  $\acute{a}$ , налагаемый на систему  $S$  и наблюдается соответствующий результат  $\omega(\acute{a})$ . Если при одних и тех же условиях  $\acute{a}$  возможны различные результаты  $\omega_1(\acute{a})$ ,  $\omega_2(\acute{a})$ ,  $\omega_3(\acute{a})$ ...  $\omega_n(\acute{a})$ ...,  $n > 1$ , то можно говорить о «неопределенности» функционирования системы  $S$  в этих условиях. Если задано множество  $\Omega = \{\omega\}$  всех возможных попарно различных результатов фиксации комплекса условий  $\acute{a}$ , то существует некоторая оценочная функция  $V(\omega)$ , сопоставляющая каждому возможному результату  $\omega \in V$  ( $V$  — множество различных оценок, упорядоченных по степени «полезности», «ценности», «благоприятности» соответствующих результатов), и можно говорить о «риске» получения результата  $\omega$ , полезность  $V(\omega)$  которого не является наивысшей из всех возможных.

Рандомизация неопределенности (от англ. «*random*» — случайный) — это выбор конкретного элемента из множества  $\Omega$  всех вариантов, возможных при фиксации комплекса условий  $\acute{a}$ . Идея рандомизации неопределенности восходит к «Попытке решения одной проблемы доктрины шансов» Томаса Байеса (1702–1761 гг.), опубликованной в 1763 г. в трудах Королевского общества. В этой работе Т. Байес ставит задачу определить для вероятности некоторого со-

бытия «шанс, что его вероятность лежит между какими-то двумя значениями», при условии, что об этой вероятности нет никакой непосредственной информации. Учитывая, что смысл термина «вероятность», его слова о «шансах вероятности», то есть о «вероятности вероятности», однозначно указывают на то, что он полагает выбор конкретного значения вероятности  $p_0 \in [0,1]$  случайным. Из анализа работы следует, что Т. Байес считал рандомизированную вероятность  $\tilde{p} = \tilde{\omega}$  равномерно распределенной на отрезке  $\Omega = [0,1]$ . То есть, можно сказать, что неопределенность выбора конкретного значения  $p_0 = \omega_0$  из множества  $\Omega$  всех возможных значений моделируется Т. Байесом путем задания равномерного распределения  $p_0$ .

Таким образом, байесовская модель неопределенности, по существу, описывает двухмерную рандомизацию. На первом уровне при каждом фиксированном значении параметра  $\theta$  распределение  $p_\theta$  описывает рандомизацию неопределенности выбора какого-либо конкретного элемента из множества  $\Omega$ . На втором уровне рандомизируется при помощи распределения  $p(\theta)$  выбор самого распределения  $p_\theta \in \beta$ . Иными словами, при двухуровневой рандомизации, сначала случайно выбираются распределение  $p_\theta$ , которое, в свою очередь, определяет случайный выбор элемента из множества  $\Omega$ .

Опасные явления погоды в связи со значительной быстротой развития и интенсивностью можно отнести, скорее, к нелинейным объектам, что и обуславливает трудности в их прогнозировании, в частности, долговременном. Поэтому для анализа их рисков более подходят методы нелинейной динамики.

Одним из которых является метод «узкого горлышка» или лимитирующего процесса. В этом случае для описания системы выбирается элемент, механизм, условия (предикторы), которые ограничивают эффективность системы. В рамках данного исследования можно считать примером описанного способа, так называемый, метод Байеса и минимизации риска. Обнаружение данных лимитирующих параметров позволяет вычислить вероятность их сочетаний и, следовательно, возможность перехода системы в состояние с опасными явлениями или без них.

Также используется метод приближенных сумм одинаково распределенных независимых случайных величин с конечным средним и дисперсией. При этом значительные отклонения соответствуют в большей степени стихийным бедствиям или иным катастрофам. Т. е.

данный метод более применим к весьма редким, но интенсивным по ущербам и жертвам явлениям.

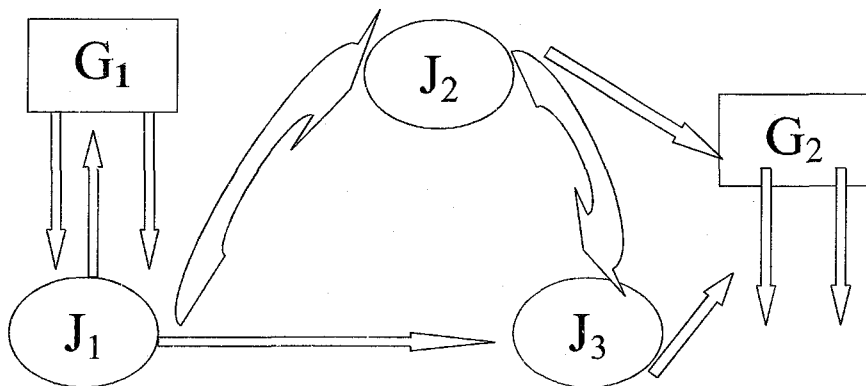
Парадигма самоорганизованной критичности [91], появившаяся в конце XX в., предусматривает зависимость числа катастроф от их энергии (интенсивности). Откуда прогнозирование этих событий опирается на изученные системные механизмы, что позволяет подобрать наиболее адекватные методы управления рисками катастроф в этих случаях.

Особого внимания заслуживает так называемая теория «джокеров», предлагающая новый подход к управлению рисками чрезвычайных событий. В этом случае решается необычная математическая задача. Допустим, состояние объекта характеризуется координатами точки  $(x_1, \dots, x_p)$  в  $p$ -мерном фазовом пространстве и будущее поведение системы однозначно определяется ее настоящим. Оказалось, что в этом фазовом пространстве есть области, в которых горизонт предсказуемости резко сокращается и которые связаны с большим риском возникновения тех или иных событий. Они были названы «областями джокеров» ( $J_1, J_2, J_3$ ). Собственно «джокер» — это правило, в соответствии с которым объект в фазовом пространстве может совершить скачок. Т. е., в таких системах существует два масштаба времени:

- быстрый («катастрофический»), на котором отсутствует возможность предпринять какие-то предупреждающие действия;
- медленный, на котором можно либо предусмотреть катастрофу, либо осуществить ликвидацию ее последствий.

Данный подход, опирающийся на теорию «джокеров», весьма интересен и предполагает новый подход к предупреждению катастроф или чрезвычайных событий, а также управление и прогноз их рисков (рис. 19). Парадоксально, но оказалось, что наряду с областями «джокеров», где прогнозирование затруднено, если вообще возможно, в фазовом пространстве существуют так называемые русла ( $G_1, G_2$ ), где ход процессов предопределен, и сложные объекты можно описывать достаточно просто.

Трудности в прогнозировании поведения сложных систем зачастую обуславливаются наличием так называемых положительных обратных связей, которые могут приводить к потере управляемости. Проблема заключается в том, что в распределенных системах при-



**Рис. 19.** Схема представления сложной динамики или комбинации русел ( $G_1, G_2$ ) и джокеров ( $J_1, J_2, J_3$ ).

Стрелки, исходящие от русел, показывают детерминированное описание динамики (траектории модели или проекции).

Стрелки от джокеров показывают некоторую вероятность направления процесса в сторону другого джокера или русла.

существование такого рода связей может в течение длительного срока почти никак себя не проявлять.

В последнее время в нелинейной науке [92] был найден интересный качественный эффект — жесткая турбулентность, который обнаруживается при использовании уравнения возникновения ветровых волн на воде (обобщенное уравнение Гинзбурга—Ландау в англоязычной литературе или уравнение Курамото—Цузуки в отечественной литературе) для двухмерных или трехмерных случаев:

$$W_t = W + (1 + i_{c1}) \Delta W - (1 + i_{c2}) W^2 W, \quad (37)$$

$$x \in G, \quad W(r, 0) = W_0(r).$$

В частности, это уравнение объясняет большой класс различных бегущих и стоячих волн, турбулентные и хаотические режимы. Однако, при  $c_1 \gg 1$ ,  $c_2 \gg 1$  и достаточно большой области  $G$ , в двухмерных или трехмерных условиях оно описывает возникновение резких гигантских всплесков на турбулентном фоне. Возможно, его следует применять для описания смерчей и торнадо.

Дестабилизация сложных систем, также снижающая качество прогноза, кроме прочего может обуславливаться «изменяющимся

запаздыванием». Математические модели таких систем обычно имеют вид [93]:

$$dx/dt = F(x, (t), x(t - \tau)), \quad (38)$$

где  $\tau$  — запаздывание (при этом запаздываний может быть несколько).

Атмосфера, безусловно, относится к такого рода сложным системам с эффектом запаздывания. В частности, между возмущенностью магнитного поля и моментом появлением опасных явлений погоды определен временной промежуток, равный 20 суткам.

Как показали исследования моделей систем с запаздыванием, их свойства существенно зависят от величины запаздывания [94–95]. При очень малых  $\tau$  запаздывание практически не сказывается. С его увеличением поведение модели может все более усложняться, причем иногда реализуются режимы, крайне редко наблюдаемые в аналогичных моделях без запаздываний. В частности, на некоторых временных интервалах может наблюдаться так называемый «взрывной» рост или наоборот, подход решения чрезвычайно близок к нулю. Возникает это из-за рассогласованности по времени комплекса положительных и отрицательных обратных связей, которые могли бы поведение стабилизировать. Откуда, изменение времени запаздывания — один из возможных путей управления поведением сложных систем в смысле их стабилизации.

#### **4. Вероятностное математическое прогнозирование опасных явлений погоды**

##### **4.1. Метод расчета условной вероятности аномалий (метод Байеса)**

Будем считать, что атмосфера как динамическая система может находиться, по крайней мере, в двух состояниях: устойчивом, при котором опасные явления отсутствуют и неустойчивом, которое характеризуется возможностью искомых явлений погоды. Метод Байеса или метод принятия решений о состоянии диагностируемого объекта — атмосферы — основан на использовании обобщенной формулы Байеса. Для ее применения требуется большой объем предварительной информации, которая может быть накоплена в процессе

исследования системы. С помощью этого метода можно оценить состояние объектов с высоким уровнем распознавания, поэтому его относят к эффективным методам принятия решений [96].

Пусть диагностируемый объект — атмосфера — может находиться в одном из двух состояний (неустойчивом или устойчивом)  $D_i$  ( $i=1,2$ ) и характеризуется сложным признаком  $k = (k_1, k_2, \dots, k_m)$ . В соответствии с методом Байеса рассчитаем условные вероятности  $P(D_i/k) = P(D_i/k_1, k_2, \dots, k_m)$ . Это апостериорные вероятности состояний  $D_i$  при условии, что объект обладает признаком  $k$ . Решающее правило — правило принятия решения о нахождении объекта в состоянии  $D_i$  — состоит в том, что объект с комплексным признаком  $k$  относят к указанному состоянию, если апостериорная вероятность этого состояния максимальна.

$$P(D_i/k) > P(D_j/k), i \neq j. \quad (39)$$

Это правило усиливают введением уровня распознавания  $P^*$ , обычно  $P^* \geq 0.9$ . Решение о диагнозе  $D_i$  принимается, если выполнены условия (39) и  $P(D_i/k) \geq P^*$ .

При этом вероятность альтернативных диагнозов не превышает  $1 - P^*$ . В ином случае отказываются от постановки диагноза, для постановки которого требуется дополнительная информация.

Обобщенная формула Байеса для определения апостериорной вероятности  $P(D_i/k)$  в случае дихотомии записывается в виде (40).

$$P(D_i / k) = \frac{P(D_i) \prod_{p=1}^m P(k_p / D_i)}{\sum_{j=0}^1 P(D_j) \prod_{p=1}^m P(k_p / D_j)}. \quad (40)$$

## 4.2. Метод минимизации риска

При использовании методов статистической теории принятия решений правило постановки диагноза определяют из условий минимизации риска или вероятностей ошибочных решений при диагностировании. Выбор того, какие из указанных величин минимизируются, зависит от наличия априорной информации для постановки диагноза [96].

Рассмотрим задачу вероятностного определения устойчивости атмосферы (система может находиться в двух состояниях). Будем считать, что решение о состоянии диагностируемого объекта принимается на основе анализов диагностических параметров в  $n$ -мерном пространстве, состояние объекта в котором определяется вектором диагностических параметров  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Правило принятия решения о состоянии диагностируемого объекта сводится к определению в диагностическом пространстве граничной поверхности, разделяющей его на две области  $S_0$  и  $S_1$ , такие, что вектор  $x$ , полученный при обследовании объекта, принадлежит  $S_0$  ( $x \in S_0$ ), то ставится диагноз  $D_1$  (атмосфера неустойчива). Если  $x \in S_1$ , принимают, что объект находится в состоянии  $D_0$  (атмосфера устойчива). Разбиение диагностического пространства на области, соответствующие возможным состояниям диагностируемого объекта, и определение положения граничной поверхности проводится на основе априорных данных о распределении диагностических параметров при различных состояниях объекта и потерях от ошибочно принятых решений при постановке диагноза.

Обозначим через  $w(x/D_i) = w(x_1, x_2, \dots, x_n/D_i)$ , ( $i = 0, 1$ ) условные плотности вероятности распределения вектора параметров для состояний  $D_0$  и  $D_1$ . Вероятности правильно поставленных диагнозов при разбиении пространства на области  $S_0$  и  $S_1$  определяются соотношениями (41)

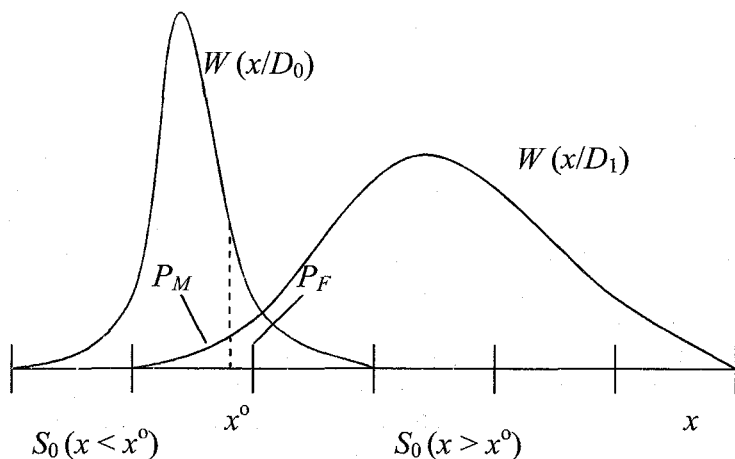
$$P_0 = P(D_0)P(x \in S_0 / D_0) = P(D_0) \int_{S_0} w(x / D_0) dx,$$

$$P_1 = P(D_1)P(x \in S_1 / D_1) = P(D_1) \int_{S_1} w(x / D_1) dx. \quad (41)$$

Вероятность ошибки при определении состояния атмосферы как «неустойчивое» обозначим  $P_F$ . Вероятность ошибки при определении состояния атмосферы как «устойчивое» обозначим  $P_M$ . Назовем эти ошибки ошибками первого и второго рода (42).

$$P_F = P(D_0)P(x \in S_1 / D_0) = P(D_0) \int_{S_1} w(x / D_0) dx$$

$$P_M = P(D_1)P(x \in S_0 / D_1) = P(D_1) \int_{S_0} w(x / D_1) dx \quad (42)$$



**Рис. 20.** Условные плотности вероятности распределения параметра  $x$ .

На рисунке 20 показаны плотности вероятности распределения одного диагностического параметра  $x$  для двух различных состояний объекта. Область  $S_0$  отвечает диагнозу  $D_0$ ,  $S_1$  — диагнозу  $D_1$ .  $x^0$  — значение диагностического параметра, разделяющего эти области. Отрезки, образованные при пересечении кривых плотностей вероятности распределения параметров, представляют собой вероятности ошибок первого  $P_F$  и второго  $P_M$  рода соответственно.

Т. о., для расчета искомой вероятности переходов системы в то или иное состояние и, значит, для принятия того или иного решения, необходимо исследовать площадь геометрической фигуры, состоящей из двух частей:  $P_F x_0$  и  $P_M x_0$  — вероятностей ошибок  $P_F$  и  $P_M$  при определении состояний системы и перпендикуляра  $x_0$  (рисунок 20). Для повышения точности расчета их площади используем метод разбиения на единичные отрезки с последующим их суммированием. Количество отрезков лимитировано и подбирается эмпирически.

Диагностику объекта произведена при помощи следствия метода минимального риска — методом минимального числа ошибочных решений.

Этот метод применяется, если неизвестны стоимости потерь и выигрышей при постановке диагноза. Правило постановки диагноза

находится из условия минимума доли ошибочных решений. Вероятность таких решений определяется соотношением (43)

$$P_{\text{ош}} = P(D_0) \int_{S_1} w(x/D_0) dx + P(D_1) \int_{S_0} w(x/D_1) dx \quad (43)$$

Можно показать, что она минимальна, если область  $S_0$  диагноза  $D_0$  содержит значения  $x$ , для которых

$$\lambda(x) > \frac{P(D_1)}{P(D_0)} = \lambda_0. \quad (44)$$

Уравнение  $\lambda(x) = \lambda_0$  определяет граничную поверхность между областями  $S_0$  и  $S_1$  диагностического пространства. Правило постановки диагноза можно записать в виде неравенства (45)

$$\lambda(x) > \lambda_0 \quad \text{Объект находится в состоянии } D_0;$$

$$\lambda(x) < \lambda_0 \quad \text{Объект находится в состоянии } D_1. \quad (45)$$

Ошибки первого и второго рода при использовании этого правила вычисляются по формулам (42) с учетом разбиения диагностического пространства на области  $S_0$  и  $S_1$ .

Отсюда для определения вероятности пребывания атмосферы в неустойчивом состоянии необходимо задать набор параметров  $x, x_1, \dots, x_n$ . Понимая при этом, что каждый из этих параметров имеет свой уровень значимости в связи с неустойчивостью атмосферы и, значит, вероятностью аномалий. Затем необходимо подобрать функцию их распределения и построить для каждого параметра отдельный график (рис. 20). Который иллюстрирует соотношение вероятных изменений состояний атмосферы в зависимости от конкретного параметра  $x$ . Затем рассчитываются вероятности принятия ошибочных решений и можно записать правило постановки диагноза неустойчивости атмосферы в отдельном рассматриваемом случае.

### 4.3. Нейрокомпьютерное моделирование

Под *искусственной нейронной сетью* понимается структура, состоящая из элементарных преобразующих компонент (нейронов) и связей между ними, которой свойственно [97–98]:

- распределенное представление информации и параллельные вычисления;
- способность к обучению и обобщению;
- адаптивность;
- толерантность к ошибкам.

*Известными моделями искусственных нейросетей являются:*

1. Перцептрон Розенблатта (считается первой моделью).
2. Нейросеть обратного распространения погрешности.
3. Сеть направленного случайного поиска.
4. Сети Кохонена.
5. Хопфилда.
6. Машина Больцмана.
7. Сети Хемминга.

Интеллектуальные системы на основе искусственных нейронных сетей позволяют с успехом решать проблемы распознавания образов, выполнения прогнозов, оптимизации, ассоциативной памяти и управления. Применение нейросетей требует от разработчика выполнения ряда условий:

- множество данных, содержащих информацию, что характеризует проблему;
- соответственно установленное по размерам множество данных для обучения и тестирования сети;
- понимание базовой природы решаемой проблемы;
- выбор функции сумматора, передаточной функции и методов обучения;
- понимание инструментальных средств разработчика;
- соответствующая мощность обработки [99–101].

Нейросети практически являются моделью интеллектуальной деятельности центральной нервной системы и мозга человека.

В частности, *сети Кохонена* — одна из разновидностей нейросетей — отличаются способностью к самообучению, интуитивному анализу информации, возможности модификации и подбору входящих численных параметров, что позволяет их применить для анализа метеоситуации с позиции возникновения опасных явлений погоды и последующего расчета их рисков.

---

## **РАЗДЕЛ II**

# **ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ РАВНИН ЮГА РОССИИ И ИХ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ**

### **5. Физико-географические условия равнин юга России**

#### **5.1. Геология и рельеф**

Объект исследований — равнины юга Европейской территории России (ЕТР) — ограничены Кавказским хребтом на юге и расположены в пределах Русской равнины, между 50 и 45 градусами северной широты. По природному районированию территории Юга России к равнинам юга ЕТР в диссертации отнесены равнины Нижнего Дона, Нижней Волги, а также Предкавказья. В состав Нижнего Дона в данном случае входят: Калачская возвышенность, Донская гряда, Донецко-Донская возвышенная равнина, Северо-Приазовская равнина, Нижнедонская низменность, Манычская низменность, Доно-Сальская равнина, Сало-Манычская возвышенность, Доно-Егорлыкская аккумулятивная равнина; к территории Нижней Волги: южная часть Приволжской возвышенности, Низкое Заволжье, южная часть Окско-Донской равнины, северо-западная часть Прикаспийской низменности. К территории Предкавказья относятся: Азово-Кубанская низменность, Ставропольская возвышенность, Терско-Кумская низменность.

В тектоническом отношении Нижний Дон, Нижняя Волга находятся в пределах докембрийской Русской платформы, а Предкавказье — Скифской плиты герцинского возраста [102]. Согласно гео-

морфологического и физико-географического районирования СССР данная территория относится к стране Русская равнина. В свою очередь Кавказ — к Крымско-Кавказской горной стране. Предкавказские горные прогибы (Индоло-Кубанский, Терский) являются границей между равнинами Предкавказья и горными областями Кавказа. Однако южные их части, заполненные молассовыми толщами, правомернее относить к Кавказской складчатой зоне. В соответствии с этим, южная граница изучаемой территории проведена по глубоко опущенным краевым частям прогибов, а северная совпадает с административными границами Ростовской и Волгоградской областей.

Структуры платформенного типа предопределили достаточно выровненную территорию. Абсолютные высоты постепенно увеличиваются к югу — Ставропольская возвышенность (г. Стрижамент, 831 м). В пределах Прикаспийской низменности имеются участки, расположенные ниже уровня моря (высоты до 28 м). Средние высоты равнин юга ЕТР составляют около 200 м.

На севере территории, в пределах юго-восточной окраины Воронежской антеклизы Русской платформы, расположены Калачская возвышенность, Донская гряда и Донецко-Донская равнина [103]. Это выровненные пологоувалистые и увалистые возвышенности со значительной эрозионно-денудационной обработкой рельефа (рис. 21) Калачская возвышенность простирается с северо-запада на юго-восток, при наибольших высотах до 242 м. Это ярусная возвышенность с хорошо развитой овражно-балочной сетью, пересеченная долинами рек. Донская гряда простирается с запада на восток. Северный склон ее короткий и крутой, южный — пологий, более протяженный, слабо расчлененный. Наибольшие высоты составляют 250 м. Характерна ступенчатость; в местах выхода пород мела — куэстообразные, грядовые и останцовые формы рельефа (высотой до 8–10 м). Междуречья плоские, развита овражно-балочная сеть. Южнее расположена Донецко-Донская равнина, имеющая уклон с севера на юг. Наибольшие высоты до 180 м. Долинами рек она расчленена на ряд меридионально вытянутых плато, развита овражно-балочная сеть.

В пределах Пачелмского прогиба Русской платформы расположена южная окраина Окско-Донской равнины, почти плоской, слабо расчлененной, с наибольшими высотами около 179 м. Она относится к континентально-аккумулятивным равнинам. На пологих скло-

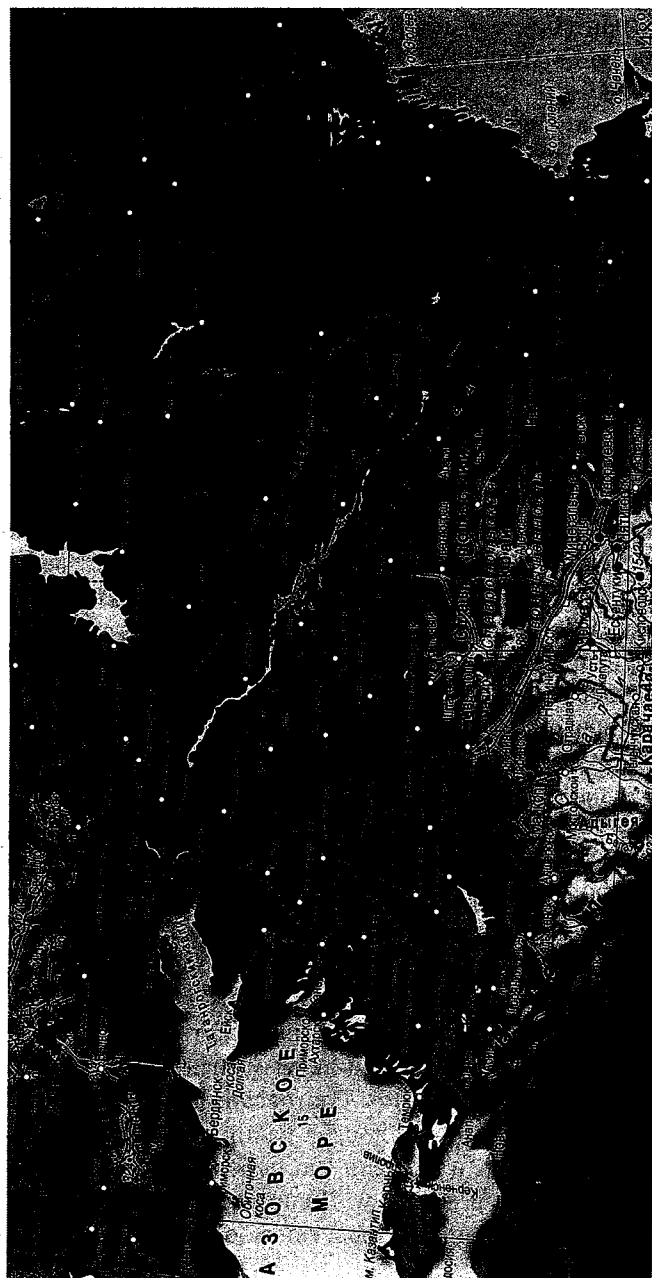


Рис. 21. Физико-географическая карта – схема равнин юга Европейской территории России.

нах развито неглубокое и негустое балочное расчленение, относительно невелика овражность. В ее пределах распространены западины, неглубокие поды, вытянутые «слепые» ложбины.

Восточнее, в пределах Волго-Уральской антеклизы Русской платформы, располагается южная часть Приволжской возвышенности (к югу переходит в равнины Низкого Заволжья). Она имеет вид пластовой ступенчато-увалистой, со значительным развитием поверхностей выравнивания и флювиальной морфоскульптурой возвышенности, к югу рельеф становится волнистым. Абсолютные высоты снижаются в направлении на юг до 200 м. Характерна ступенчатость водоразделов; восточный склон (обращен к р. Волге) крутой и короткий. Развита овражно-балочная сеть.

Южнее, между Приволжской возвышенностью и Прикаспийской низменностью, расположены равнины Низкого Заволжья с высотами менее 100 м. В геоморфологическом отношении они относятся к четвертичным континентально-аккумулятивным равнинам. Расчлененность постепенно уменьшается к югу, при этом рельеф увалистый, переходит в волнистый. Междуречья имеют сглаженные очертания склонов: выпуклые, вогнуто-выпуклые, чаще террасированные. Хорошо выражена ступенчатость, вытянутая по простиранию р. Волги.

Между Донской грядой на севере, Северо-Приазовской равниной на юге и Донецко-Донской возвышенной равниной на востоке расположен Донецкий кряж, представляющий собой выходы складчатого основания Скифской плиты на дневную поверхность. Это денудационно-эрозионная возвышенность, разделенная долинами рр. Лихая, Кундрючья на ряд водоразделов. В пределах территории изучения представлены восточные отроги с абсолютными высотами до 298 м. Характерно чередование равнинных пространств с грядями, гривами, цепями холмов, местами развит карст. Имеет место овражно-балочная сеть, на юге развиты уступы и скаты.

Северо-Приазовская эрозионно-аккумулятивная наклонная равнина приурочена к погруженному Ростовскому своду Русской платформы. Это цокольная, почти плоская равнина с морфоскульптурами морской аккумуляции и абразии (по побережью Азовского моря) с наибольшими высотами до 115 м. Долинами рек расчленена на ряд плато: Грушевское, Родионово-Несветайское и Новочеркасское. Ха-

рактены следующие орографические параметры: уклон на юго-восток, глубоко врезанная система рек, долинно-балочное расчленение, а также оползневые процессы.

Меридионально ориентированная возвышенность Ергени в структурном отношении относится к приподнятым участкам погруженного вала Карпинского Скифской плиты. Это расчлененная ступенчато-ярусная возвышенность с наибольшими высотами до 221 м. Почти на всем протяжении не имеет значительного эрозионного расчленения. Только восточный приподнятый край расчленен системой глубоких логов. Это создает здесь своеобразный грядово-ложбинный рельеф. Доно-Сальская аккумулятивно-эрозионная равнина (Западные Ергени) ориентирована субмеридионально. Это пологоувалистая равнина с абсолютными высотами 50–100 м, пересеченная долинами рек и балок. Донской склон пологий; Сальский — крутой. Сало-Манычская денудационная равнина (Южные Ергени) ориентирована субширотно, абсолютные высоты достигают 100 м, при наибольших значениях до 220 м. Сальский склон пологий; Манычский склон крутой, с густой овражно-балочной сетью. Распространены просадочные западины (до 100 м в диаметре). К этому району также относится Сальская аллювиальная террасовая равнина (Центрально-Ергенинская впадина), включающая пойму и две надпойменных террасы р. Сал. Абсолютные высоты колеблются от 20–25 до 30–35 м. Встречаются ложбины, балки, овраги.

На погруженных участках Скифской плиты размещены Нижнедонская и Манычская низменности. Нерасчлененные, почти плоские равнины с преобладанием континентальной аккумуляции (Нижнедонская низменность) и озерно-морской аккумуляции (Манычская низменность).

Нижнедонская низменность приурочена к погруженной части Восточного Донбасса. К ней относятся дельта и пойма, а также 4 надпойменных террасы долины р. Дон. Абсолютные высоты поймы колеблются от 2–3 до

4–5 м. Дельтовая равнина р. Дон (площадь около 340 км<sup>2</sup>) пересечена многочисленными протоками, ериками, рукавами. Для нее характерны отдельные пониженные заболоченные участки, песчаные холмы — останцы. В центральной части поймы распространены озера, лопатины, в прирусловой части встречаются валы (значи-

тельно протяженные, со средними высотами до 2–5 м, шириной 8–30 м). В пределах надпойменных террас также имеются как ложбинообразные понижения, так и валы.

Манычская низменность располагается на месте Манычского прогиба и включает пойму и две надпойменных террасы р. Маныч. Пойма занята водами двух водохранилищ: Веселовским и Пролетарским. Первая надпойменная терраса высотой до 15 м и шириной до 2 км (на западе) обрывается к пойме уступом 7–12 м; распространены протоки, озера, лопатины. На второй террасе шириной до 15 км (на западе, сужается к востоку) высотой 15–25 м встречаются ложбины, развита овражно-балочная сеть.

Непосредственно примыкает к побережью Азовского моря Азово-Кубанская низменность, расположенная в пределах Азово-Кубанской впадины на Скифской плите. Абсолютные высоты снижаются при движении к побережью, от 150–200 и более метров до 0 м. Это нерасчлененная, почти плоская равнина (всхолмлена только на востоке, на границе со Ставропольской возвышенностью). В приморской части (запад низменности) встречаются стоковые ложбины, западины, приазовские лиманы. Широко представлены песчаные отложения и косы.

Доно-Егорлыкская аккумулятивная равнина является северным геоморфологическим районом Азово-Кубанской низменности, так как располагается на северном крыле одноименной впадины. Абсолютные высоты достигают 80–100 м (средние), наибольшие до 131 м, имеет вид плоской низменной равнины с мощной толщей континентальных отложений. Она пересечена долинами рек Кагальник, Егорлык и их притоками; междуречья широкие, плоские, с умеренным балочным расчленением.

Западная часть обширной Прикаспийской низменности (Прикаспийская синеклиза Русской платформы) занимает всю восточную территорию и представляет собой ровную, слабо наклоненную к югу, созданную морской аккумуляцией низменность. Абсолютные высоты колеблются от 100 (на севере) до 28 м (на востоке, в приморской полосе). Площадь дельты р. Волги составляет около 12 тыс. км<sup>2</sup>. Пространство между р. Волгой и ее левыми притоками объединяют под названием «Ахтуба». Характерен эоловый бугристо-барханный (бэровские бугры), дюнный (в приморской полосе), а также грядово-песчаный рельеф.

Терско-Кумская низменность расположена в пределах впадины на Скифской плите, а южная окраина является частью Терского прогиба. Последняя непосредственно примыкает к побережью Каспийского моря (южнее дельты р. Волги). Здесь происходит аккумуляция морских отложений и аллювия рек. Рельеф равнинный. На востоке (побережье Каспийского моря) находятся участки, опущенные ниже уровня моря ( $-28$  м).

В пределах Терско-Кумской низменности расположены Прикумская полупустынная равнина (Ногайская степь) и Терско-Кумский песчаный массив. Прикумская равнина сложена суглинками, супесями и песками (низовье р. Кумы), в прибрежной части встречаются лиманы, в преддельтовой — соленые озера. По поверхности разбросаны бессточные впадины, представляющие собой депрессии древнедельтового рельефа (Сарпинская, Кушумская, Калмыковская и др.).

С юга, почти до середины Ногайской степи от низовья Терека, включая полосу Бажиганско-Терекских песков, простирается Терско-Кумский песчаный массив. По происхождению пески относятся к приморским дельтовым образованиям, которые связаны с потоками флювиогляциальных вод. Здесь представлены бугристые пески (бэровские бугры), грядовые пески и равнинные супесчаные степи. На севере массива встречаются барханы. Южная часть территории занята Ставропольской возвышенностью, относящейся к поднятию в пределах Скифской плиты. Это расчлененная ступенчато-ярусная возвышенность, представляет собой уплотненное куполовидное поднятие с основным уклоном на юго-юго-запад (г. Стрижамент,  $831$  м). На западе имеются так называемые Ставропольские высоты (г. Недреманная,  $650$  м). К северо-западу происходит переход к Азово-Кубанской равнине (около  $200$  м). Восточный склон расположен на погруженном участке Ставропольского поднятия, представляющим собой систему наклонных ступеней, понижающихся в сторону Прикаспийской низменности. Края ступеней и склоны интенсивно расчленены. В рельефе возвышенность представляет собой сочетание продолговатых плато и понижений. На юго-западе и в центральной части встречаются столовые горы, плато. Южные и западные части напоминают низкогорья. Северные склоны наиболее пологие. Характерны уступы, скаты (восточные склоны), ущелья (южные и западные).

## 5.2. Климатообразующие факторы и климат

Характер климата в пределах того или иного региона определяется атмосферными процессами, протекающими при воздействии определенных географических условий. Среди данных процессов, называемых климатообразующими факторами, следующие: радиационный режим (приход и расход солнечной радиации), циркуляция атмосферы и особенности подстилающей поверхности [104].

### 5.2.1. Приход и расход солнечной радиации

Интенсивность солнечной радиации имеет прямую зависимость от таких астрономических факторов, как высота Солнца над горизонтом, продолжительность солнечного сияния. Однако существенным образом она определяется также характером циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности.

Годовая продолжительность солнечного сияния возрастает также с севера на юг от 2176,9 ч (Волгоградская область) до 2330,3 ч (Астраханская область). Незначительное понижение на западе до 2125,6 ч (Ростовская область) обусловлено характером циркуляции атмосферы (облачность). Что подтверждается также наибольшим количеством дней без Солнца в Волгоградской и Ростовской областях в среднем за год — 78,5 дней, для сравнения, в Астраханской области — 69 дней.

Среднегодовые значения интенсивности прямой солнечной радиации, поступающей на горизонтальную поверхность, изменяются от 2761,2 МДж/м<sup>2</sup> на севере (Волгоградская область) до 2505,6 МДж/м<sup>2</sup> на юге (Астраханская область), при незначительном понижении до 2568,5 МДж/м<sup>2</sup> на западе (Ростовская область).

В годовом ходе максимальные значения интенсивности прямой солнечной радиации приходятся, в среднем, на июнь, при значениях от 460,9 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 502,8 МДж/м<sup>2</sup> на юге территории. Минимумы имеют место в декабре, при средних значениях с севера на юг: от 20,9 МДж/м<sup>2</sup> до 37,7 МДж/м<sup>2</sup>.

Поступление рассеянной солнечной радиации в большей степени зависит от вида и расположения на небосводе облаков, степени закрытости горизонта, характера подстилающей поверхности. Годовые величины рассеянной солнечной радиации составляют

1990,3 МДж/м<sup>2</sup> на севере (Волгоградская область), 2245,8 МДж/м<sup>2</sup> на западе (Ростовская область), 1902,3 МДж/м<sup>2</sup> — на юге (Астраханская область). Наибольшие значения рассеянной радиации на западе обусловлены характером циркуляции атмосферы, а именно частыми циклоническими или фронтальными вхождениями, способствующими образованию облачности. В годовом распределении данного вида солнечной радиации сроки наступления максимальных значений на севере территории приходятся на май—июнь, к югу происходит смещение последних на июнь, при колебаниях от 251,4–263,9 МДж/м<sup>2</sup> (на севере и юге) до 280,7–289,1 МДж/м<sup>2</sup> (запад).

Приход суммарной радиации при ясном небе зависит от прироста инсоляции с увеличением высоты Солнца. При этом годовые значения данного вида коротковолновой радиации закономерно увеличиваются при движении от северных районов к южным: от 4751,5 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоградская область) до 4960,9 МДж/м<sup>2</sup> (Астраханская область). В годовом ходе суммарной радиации максимальные значения наблюдаются и июне—июле, соответственно в среднем 716,5 МДж/м<sup>2</sup>, минимальные — в декабре, в среднем составляя 79,6 МДж/м<sup>2</sup>. Коэффициент отражения или альбедо ( $A$ , %) в среднем для равнинной территории юга ЕТР составляет 21,4 %, при максимальных значениях в годовом ходе в холодные сезоны года до 60,0 % (Волгоградская, Ростовская области). Что связано как с установлением снежного покрова, так и с увеличением фронтальной облачности; минимальные значения до 14,0 % отмечены в весенне-летний сезон.

Анализ среднегодовой разницы между величинами поглощенной и отраженной радиациями имеет важное значение для характеристики радиационного режима территории. При этом отчетливо проявляются условия подстилающей поверхности (альбедо). В пространственном распределении отмечено закономерное увеличение разницы с севера на юг, от 2757,0 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград, ГМО) до 3050,3 МДж/м<sup>2</sup> (Астрахань, ГМО), что обусловлено повышением доли поглощенной радиации.

Годовой ход разности между поглощенной и отраженной видами солнечной радиации отличается положительными значениями, что во многом обусловлено небольшими величинами альбедо поверхности (18–22 %). Исключением являются январские разности, составляя на севере территории, в среднем,  $-12,6$  МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград,

ГМО; Цимлянск, ГМО; Дубовское, ГМО). В данном случае очевидно влияние снежного покрова, наиболее устойчивого для равнин юга ЕТР в это время.

Величину потерь длинноволновой радиации характеризует эффективное излучение земной поверхности, которое зависит от температуры деятельной поверхности, а также от температуры и влажности воздуха. Среднегодовые значения эффективного излучения закономерно увеличиваются при движении с севера на юг: от 1655,1 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград, ГМО) до 1740,9 МДж/м<sup>2</sup> (Астрахань, ГМО; Гигант). В годовом ходе максимумы зафиксированы в июне—июле от 201,1 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград, ГМО) до 217,9 МДж/м<sup>2</sup> (Астрахань, ГМО), минимальные значения — в январе, от 54,5 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград, ГМО) до 71,2 и 58,7 МДж/м<sup>2</sup> (Гигант и Астрахань, ГМО). Остаточная радиация или радиационный баланс изменяется с севера на юг от 2099,2 МДж/м<sup>2</sup> (Волгоград, ГМО) до 2270,9 МДж/м<sup>2</sup> (Астрахань, ГМО). Также отмечено некоторое уменьшение величин последнего до 1952,5 МДж/м<sup>2</sup> на западе (Ростовская область), что прежде всего обусловлено характером циркуляции (облачность).

В годовом ходе радиационного баланса можно выделить следующие закономерности: максимумы приходятся на июнь и составляют от 381,3 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 620,1 МДж/м<sup>2</sup> на юге. Минимумы отмечены в декабре, при значениях от —8,4 МДж/м<sup>2</sup> на севере до 4,2 МДж/м<sup>2</sup> на юге (на юге в течение всего года радиационный баланс положителен).

Тепло, получаемое подстилающей поверхностью, в результате прихода и расхода солнечной радиации (радиационный баланс) может быть затрачено на испарение или турбулентный поток тепла. Согласно проведенным исследованиям на равнинах юга ЕТР большая часть радиационного тепла расходуется на испарение (от 50 до 70 %), оставшаяся — на турбулентный теплообмен (от 50 до 30 %).

#### 5.2.2. Особенности местной циркуляция атмосферы

Положение равнин юга ЕТР на границе умеренной и субтропической климатических зон предопределило высокую вероятность столкновений различных систем циркуляции. Значительные коррективы в характер переноса воздушных масс вносят неоднородности подстилающей поверхности, близость незамерзающих морей,

особенности ландшафтов, а также системы высоких хребтов Кавказа на юге.

Для циркуляционных условий данной территории характерны широтные (западные и восточные, при преобладании восточных) и меридиональные (северные и южные) переносы воздушных масс, а также процессы трансформации воздуха в сторону его выхолаживания или прогревания над подстилающей поверхностью. Процессы трансформации обуславливают наличие в течение года континентального воздуха умеренных широт. Воздушные массы, поступающие на территорию с Атлантического океана в 38 % случаев появляются в нижних слоях тропосферы (до 3 км) и в 78 % случаев — в средних (3–5 км) и верхних слоях. Меридиональные северные процессы обуславливают интенсивные похолодания зимой, а летом — значительные засушливые условия. При господстве зональных западных процессов имеет место мягкая зима и менее жаркое и влажное лето. По мнению Б. П. Дзердзеевского [105], преобладание зональных западных и меридиональных южных процессов (соответственно 50 и 25 %) характерно для зимы, меридиональных северных — для весны и лета (по 40 %), меридиональных северных и зональных западных — для осени (соответственно 30 и 25 % всех случаев). Наибольшая повторяемость вторжений приходится на воздух умеренных широт — 76 % (из них на континентальный воздух — 67 %, морской — 9 %). Повторяемость вторжений арктического воздуха не превышает 15 % (на континентальный воздух — 8 %, морской — 7 %). Вторжения тропического воздуха составляют 9 %. Зимой при западных вторжениях преобладает морской воздух умеренных широт из Атлантики, летом при меридиональных северных вторжениях — морской воздух из Арктики, при меридиональных южных — морской тропический воздух со Средиземноморья и континентальный тропический воздух из Средней Азии, Ирана, Аравии.

Наиболее существенное влияние на циркуляцию атмосферы в пределах равнинной территории юга ЕТР оказывают постоянные и сезонные барические системы, а именно: Азорский, Арктический и Азиатский максимумы, а также Черноморский минимум.

Согласно исследованиям С. А. Малика [106–108], на исследуемой территории можно выделить четыре группы синоптических типов: циклонические, антициклонические, фронтальные, тип однородных потоков воздушных масс. Наибольшей длительностью отли-

чаются типы ситуаций однородных потоков воздушных масс и антициклональных воздействий, наименьшей — широтно расположенные фронты, идущие обычно одиночно. Меридиональные фронты с запада и теплые фронты Черноморских циклонов ослабевают в подавляющем числе случаев при прохождении через рассматриваемую территорию. Частота фронтолиза над равнинами юга ЕТР в семь раз превышает частоту фронтогенеза. В 53 % случаев циклоны проходят над исследуемой территорией без изменений интенсивности, в 41 % случаев имело место ослабление, в 6 % случаев наблюдалось усиление. Наиболее часто усиление циклонических возмущений и фронтов происходит весной, наименьшее число ослабевающих возмущений — летом, максимальное число затухающих возмущений имеет место зимой. Зимой над Черным морем обостряется циклоническая деятельность, при этом с востока распространяется отрог Азиатского антициклона. Летом по северу равнинной территории юга ЕТР проходят траектории смещения циклонов на европейской ветви полярного фронта, центральные районы находятся под влиянием гребня Азорского антициклона. Результатом активизации циклонической деятельности является выпадение осадков. Наибольшее их количество связано с местными циклонами (табл. 5).

Таблица 5

**Количество осадков при циклонах различных направлений, мм  
(Кувшинова, 1960)**

| Направление<br>циклона | Среднее | Наибольшее | Наименьшее | Максимальное<br>в одном пункте | Продолжительность<br>прохождения<br>циклона, день |
|------------------------|---------|------------|------------|--------------------------------|---------------------------------------------------|
| Западное               | 7,0     | 16,4       | 3,2        | 107,4                          | 1—4                                               |
| Северо-западное        | 5,5     | 15,0       | 1,7        | 36,0                           | 1—3                                               |
| Юго-западное           | 4,9     | 12,7       | 0,9        | 67,2                           | 2—3                                               |
| Местные<br>циклоны     | 5,1     | 20,4       | 2,0        | 52,7                           | 1—2                                               |

Типизация синоптических процессов, проявляющихся в определенные сезоны года на равнинах юга ЕТР, была проведена Темниковой Н. С. [109–110] в 1959 г. В результате было выявлено 10 характерных синоптических ситуаций.

*Тип I.* Характерен для зимних условий. Антициклон, первоначально сформировавшийся в массах арктического воздуха (АВ), медленно движется на юго-восток по ультраполярной оси. В дальнейшем центр его располагается над южным Уралом или в верховьях р. Обь. Над Черным морем активизируется местная барическая депрессия. Возможен переход в *тип IV*.

*Тип II.* Характерен для зимних условий. В тыловой части циклона, перемещающегося над северными или центральными районами России, осуществляется вторжение АВ по «Карской оси», с дальнейшим оформлением в виде антициклона. Активизируется Черноморская депрессия. Возможен переход в *тип IV*.

*Тип III.* Характерен для зимних условий. Антициклон, содержащий АВ, продвигается с северо-запада на юго-восток. При этом возрастает активность Черноморского барического минимума. Возможен переход в *тип IV*.

*Тип IV.* Характерен для зимних условий. Ось гребня Азиатского антициклона распространяется западнее долготы г. Волгограда, что определяет вынос холодного воздуха в район Нижней Волги и Дона. При этом вхождение АВ в тыловые части движущихся вдоль северного побережья России циклонов способствуют усилению Азиатского антициклона. Также происходит активизация Черноморской депрессии.

*Тип V.* Характерен для синоптических процессов, протекающих в течение года. В тыловые части циклонов, продвигающихся над центральными и северными районами России с запада на восток, происходит вхождение АВ. При этом усиливается воздействие Азорского максимума, проявляющееся в виде гребней. Дальнейшее развитие ситуации оканчивается переходом в *тип III, IV* (для зимы). Черноморская депрессия слабо развита или отсутствует.

*Тип VI.* Характерен преимущественно для весенних условий. Гребень Азорского или притропического антициклонов располагается над Грецией или Закавказьем. Над Черным морем активизируется местная барическая депрессия.

*Тип VII.* Характерен, как и *тип V*, для синоптических условий всего года. Атлантические циклоны, движущиеся с запада или севе-

ро-запада, захватывают юго-восточные районы ЕТР южной периферией. Возможно прохождение вторичных фронтов из-за окклюдивности циклонов. Летом вероятно дальнейшее развитие ситуации по *типу VIII*, зимой — антициклональные вторжения.

*Тип VIII.* Характерен для летних условий. Циклон из центральных районов ЕТР смещается на южный Урал. При этом юго-восток оказывается в тыловом потоке АВ. В ряде случаев возможно возникновение циклона над Западным Казахстаном в результате развития волнового возмущения на восточно-европейской ветви полярного фронта.

*Тип IX.* Характерен для условий переходных сезонов. Возможен выход Средиземноморских циклонов с юго-запада на северо-восток ЕТР. При этом своей южной или юго-восточной периферией они захватывают территорию западного Предкавказья, происходит вынос тропического воздуха (ТВ).

*Тип X.* Характерен для летних условий. Над юго-востоком ЕТР формируется размытый барический рельеф, деформационное поле с гиперболической точкой на севере. При этом хорошо выражены процессы трансформации континентального умеренного воздуха (КУВ) и континентального тропического воздуха (КТВ). Обычно развитие ситуации заканчивается образованием циклона над Западным Казахстаном, то есть осуществляется переход в *тип VIII*.

Местная циркуляция устанавливается в зависимости от особенностей подстилающей поверхности и направлений воздушных потоков. На равнинах Нижнего Дона, Волги и Предкавказья к ветрам местной циркуляции можно отнести бризы. Возникновение бризовой циркуляции в приморских районах изучаемой территории наблюдается при установлении антициклонального режима погоды с малыми горизонтальными барическими градиентами. Условиями развития последней являются наличие значительных контрастов температур между сушей и морем (более 50% бризов наблюдается при разности температур между поверхностью почвы и воды в 13 ч примерно 20–30 °С). В годовом ходе максимумы бризовой циркуляции достигают в июле—августе. На побережьях Азовского и Каспийского морей бризы выражены слабее, чем на Черноморском побережье Кавказа. Это объясняется почти плоским рельефом берегов, открытостью градиентным ветрам, малой площадью водной поверхности. На северном побережье Азовского моря морские бризы имеют преимуще-

ственно западное, южное и юго-восточное направления, на восточном берегу — северное и северо-западное, на южном берегу — северное. В свою очередь, береговые бризы: на севере моря — северо-восточное, северное и северо-западное направления, на востоке-северо-восточное, на юге — юго-восточное и южное. В Керченском проливе морской бриз имеет юго-юго-восточное и юго-восточное направления, а береговой — западное и западно-северо-западное. Средняя скорость морского бриза составляет 3–4 м/с (максимальная до 7–8 м/с, ст. Мысовой, Тамань), берегового 1–3 м/с.

### 5.2.3. Подстилающая поверхность

Данное понятие обычно объединяет характерные особенности рельефа, гидрографии и растительности региона.

Для юга России изучение характера расположения основных форм рельефа равнинной территории юга ЕТР позволило сделать следующие выводы:

- преобладают субширотно ориентированные возвышенности, гряды, кряжи (Донская гряда, Донецкий кряж, Сало-Манычская гряда, Ставропольская возвышенность);
- на востоке, простираясь по долине р. Волги, расположены субмеридиональные возвышенности: Приволжская и Ергени;
- характерным является снижение высот в пределах описываемой территории (до 0 м и менее) к центру, юго-западу, юго-востоку, при значительном повышении к югу (более 350 м, до 831 м);
- специфичность ориентирования возвышенностей юга ЕТР способствует формированию «коридора» по Кумо-Манычской впадине, удобного для субширотных восточно-западных вторжений;
- незначительные высоты на юго-западе и юго-востоке территории создают предпосылки для проникновения морского умеренного и морского тропического воздуха;
- достаточно хорошая доступность для различного рода вторжений характерна для запада, юго-запада, севера, юго-востока территории;
- восток территории в значительной мере доступен для меридиональных вторжений, как северных, так и южных (арктические, континентальные умеренные, континентальные тропические воздушные массы);

— очевидна континентальность востока территории равнин юга ЕТР, орографически закрытого от влияния Атлантики.

При исследовании гидрографии региона существенного воздействия Азовского и Каспийского морей на климат побережий не выявлено. Что, предположительно, объясняется малой тепловой инерцией водоемов вследствие мелководности (глубины Северного Каспия — до 10 м; Азовского моря — до 14 м). Однако можно сформулировать ряд эмпирически полученных выводов:

- побережья теплее прилегающей части суши в осенне-зимний период и в годовом ходе (наиболее четко выражено на побережье Азовского моря);
- безморозный период увеличен на побережьях (в данном случае на 14–18 дней);
- относительная влажность на побережьях возрастает (особенно четко на побережье Каспийского моря);
- дефицит насыщения повышен во внутренних районах;
- уменьшение количества дней с устойчивым снежным покровом;
- существование бризовой циркуляции в теплые сезоны года;
- возникновение и смещение местных циклонов (Черноморских, Каспийских);
- локальные усиления скоростей ветра на мысах.

Преобладающим типом ландшафтов юга России являются степи и их разновидности. К востоку, в связи с увеличением континентальности, распространяются полупустыни и пустыни, в основном, сложенные песчаным материалом. Древесная растительность природного происхождения встречается по долинам рек.

Т. о., подстилающая поверхность создает благоприятные условия для проникновения разнородных циркуляционных единиц — воздушных масс. Кроме того, равнинный характер территории, близость акваторий Черного и Азовского морей, понижения высот на юго-западе, юго-востоке и в центре равнин юга ЕТР, ориентация возвышенностей на востоке в меридиональном направлении, Кумо-Манычский ветровой коридор, степная растительность создают предпосылки для формирования в рамках умеренного климата по классификации А. Б. Алисова местных его вариаций.

#### 5.2.4. Климатическое районирование юга России

Для комплексного изучения пространственного изменения различных компонентов ландшафтов равнин юга ЕТР и Предкавказья было применено климатическое районирование. Поскольку количественные изменения климатических элементов приводят к качественным (изменения растительных сообществ), использовались данные физико-географического районирования. При этом основой последнего служили физико-географическое районирование СССР Н. А. Гвоздецкого (1968), а также климатическое районирование Б. П. Алисова (1974).

Одним из первых климатических районирований рассматриваемой территории было районирование И. В. Фигуровского (1919) («Климаты Кавказа»). В основу которого положены распределение среднегодовых амплитуд температур и осадков. Б. Ф. Добрынин (1948) согласно описанным типам климата выделял в пределах территории 14 климатических областей. Климатическое районирование С. А. Малика и А. А. Нагайцева (1959), основными критериями которого служили суммы температур более  $10^{\circ}\text{C}$  и характеристики заморозков, предусматривало разделение территории на провинции, подпровинции, округа, районы. Н. С. Темникова (1959) выделила в пределах равнинной территории юга ЕТР 3 климатические области, используя следующие критерии: характер циркуляции в годовом цикле; соотношение радиационного баланса и суммы осадков (индекс сухости за год); соотношение различных компонентов водного баланса в годовом цикле: осадки = испарение + сток; ландшафтные зоны как наиболее общее отображение климатических условий.

Наиболее крупными принятыми таксономическими единицами данного районирования является физико-географическая страна Русская равнина, расположенная в пределах умеренного климатического пояса, континентальной области (согласно районированию Б. П. Алисова).

Следующие единицы, такие как зоны и районы, были получены, согласно использованию таких характеристик (определены по местным условиям), как: индекс сухости; коэффициент континентальности; годовая сумма испаряемости; годовая сумма осадков; средняя температура января и июля; годовая амплитуда температур воздуха; разность между испаряемостью и количеством осадков; наибольшая декадная высота снежного покрова; среднее квадратическое откло-

нение и коэффициент вариации величины  $I_{sc}$ ; повторяемости, продолжительность и интенсивность аномальных явлений погоды.

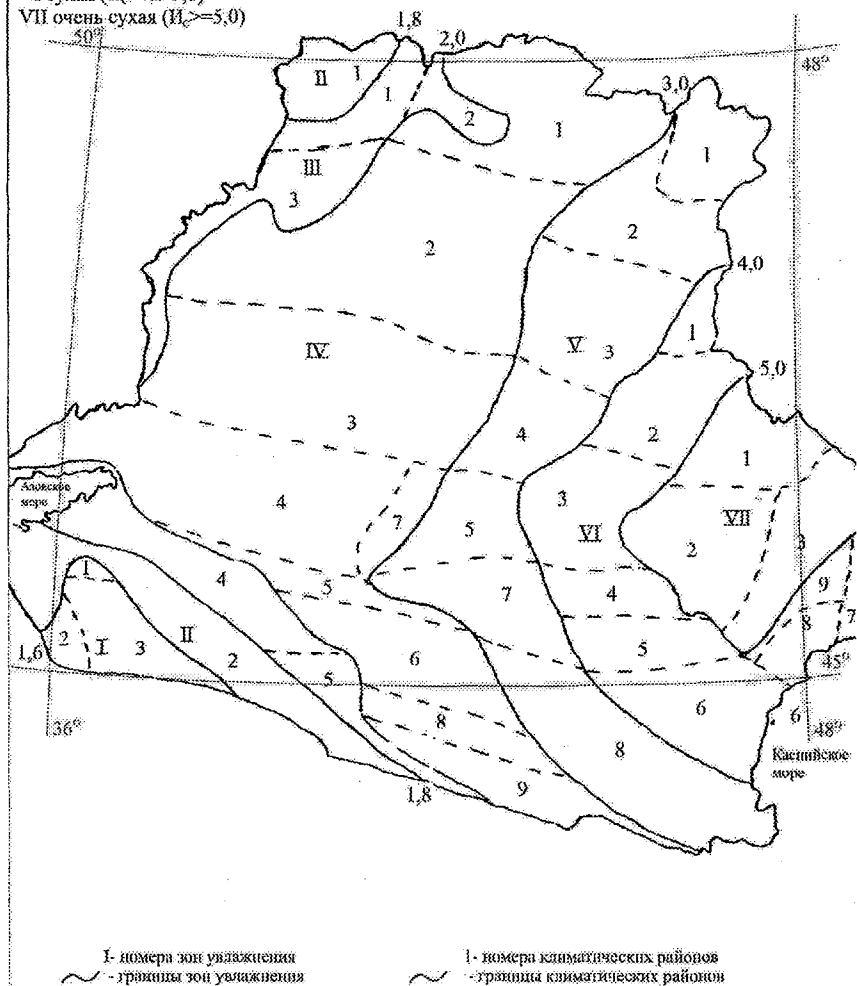
Первоначально вся территория изучения (102 метеорологических станции) была разделена на семь зон по характеру увлажнения (индекс сухости), поскольку этот критерий считается ведущим в связи с положением на юге умеренного пояса. Затем, в пределах каждой зоны были выделены районы (39) по сочетанию температур января и июля и годового количества осадков.

В соотносении результатов представленного районирования с работами Н. А. Гвоздецкого и Б. П. Алисова с запада на восток территория изучения (рис. 22) была разделена на следующие семь зон: атлантико-континентальные европейские степи (зона неустойчивого увлажнения,  $I_{sc} \geq 1,6$ ; недостаточного увлажнения,  $I_{sc} = 1,6-1,8$ ; слабо засушливая,  $I_{sc} = 1,8-2,0$ ), сухие степи (засушливая,  $I_{sc} = 2,0-3,0$ ); континентальные восточноевропейские полупустыни (очень засушливая,  $I_{sc} = 3,0-4,0$ ) и пустыни (сухая,  $I_{sc} = 4,0-5,0$ ); континентальная северотуранская пустыня (очень сухая,  $I_{sc} \leq 5,0$ ). С севера на юг были выделены 39 районов: 1 — зона неустойчивого увлажнения содержит 3 района (4 метеостанции); 2 — зона недостаточного увлажнения — 2 района (5 метеостанций); 3 зона — слабо засушливая — 5 районов (14 метеостанций); 4 зона — засушливая — 9 районов (41 метеостанций); 5 зона — очень засушливая — 8 районов (16 метеостанций); 6 зона — сухая — 9 районов (17 метеостанций); 7 зона — очень сухая — 3 района (5 метеостанций).

Таким образом, к **первой зоне** (степи) — неустойчивого увлажнения ( $I_{sc} \geq 1,6$ ) относят следующие районы:

1.1. расположен в пределах Нижнедонской низменности (высоты от 2–3 до 4–5 м), в нижнем течении р. Дон; представлены степи на черноземах предкавказских. Коэффициент континентальности ( $K_k$ ) = 0,86; средняя температура января  $-4,8^\circ\text{C}$ ; средняя температуры июля  $21,2^\circ\text{C}$ ; годовая амплитуда температур ( $A$ )  $27,3^\circ\text{C}$ ; разность между годовыми количествами осадков и испаряемостью ( $Q - E$ ) — 303,0 мм; среднее годовое количество осадков 510,0 мм; средняя годовая испаряемость 813,0 мм; среднее квадратическое отклонение ( $G$ ) 1,06; коэффициент вариации ( $V$ ) 69,0%; обобщенная повторяемость ОЯ — не более 2%; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — более 60,0 мм; продолжительность гололеда — более 20,0 ч; изморози — более 10,0 ч.

## ЗОНЫ УВЛАЖНЕНИЯ

I неустойчивого увлажнения ( $H_c \leq 1,6$ )II недостаточного увлажнения ( $H_c = 1,6-1,8$ )III слабо засушливая ( $H_c = 1,8-2,0$ )IV засушливая ( $H_c = 2,0-3,0$ )V очень засушливая ( $H_c = 3,0-4,0$ )VI сухая ( $H_c = 4,0-5,0$ )VII очень сухая ( $H_c \geq 5,0$ )

**Рис. 22.** Карта-схема климатического районирования равнин юга Европейской территории России

1.2. находится в пределах Ставропольской возвышенности (северные пологие склоны, с высотами более 150 м); верхнее течение р. Кубань; степи на типичных черноземах.  $K_k = 0,85$ ; средняя температура января  $-3,4^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,7^\circ\text{C}$ ;  $A = 26,3^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -287,0$  мм; среднее годовое количество осадков 563 мм; испаряемость 850 мм;  $G = 1,4$ ;  $W = 100,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для общих метелей — более  $10,0\%$ ; гололеда — более  $8,0\%$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее  $80,0$  мм; продолжительность гололеда — более  $20,0$  ч; изморози —  $15,0$  ч; обобщенная повторяемость ОЯ — не более  $4,0\%$ .

1.3. представлен в пределах Азово-Кубанской низменности с высотами менее 50 м; пересечен долинами р. Ея, Кубань; разнотравно-злаковые и дерново-злаковые степи на черноземах мощных и сверхмощных, а также плавни.  $K_k = 0,85$ ; средняя температура января  $-2,8^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,3^\circ\text{C}$ ;  $A = 26,4^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -299$  мм; средняя высота снежного покрова 12 см; среднее годовое количество осадков 544,0 мм; испаряемость 843,0 мм;  $G = 0,98$ ;  $W = 65,0\%$ ; наибольшая повторяемость за 30-летие характерна для гололеда и изморози: 7,4 и 6,3 % соответственно при продолжительности данных явлений: 21,7 и 17,4 ч; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней составила 78,6 мм; общая повторяемость ОЯ —  $2,8\%$ .

**Вторая зона** — (степи) — недостаточно засушливая ( $I_c = 1,6-1,8$ ):

П.4. размещен в пределах Окско-Донской низменной равнины (с высотами 100–150 м); верхнее течение р. Дон (с притоком р. Хопер); лесостепи на черноземах оподзоленных.  $K_k = 0,85$ ; средняя температура января  $-11,1^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $19,9^\circ\text{C}$ ;  $A = 32,3^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -319$  мм; среднее годовое количество осадков 413,0 мм; испаряемость 732,0 мм;  $G = 1,26$ ;  $W = 70,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для общих метелей —  $10,0\%$ ; изморози —  $12,0\%$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — более  $80,0$  мм; продолжительность гололеда — более  $20,0$  ч; изморози —  $20,0$  ч; обобщенная повторяемость ОЯ — более  $8,0\%$ .

П.5. находится в пределах Азово-Кубанской низменности (с высотами более 50 м), Ставропольской возвышенности (150–300 м); верхнее течение р. Кубань; разнотравно-злаковые и дерново-злаковые степи на черноземах мощных и сверхмощных, плавни.  $K_k =$

0,86; средняя температура января  $-3,8^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,9^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 25,7^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -349,0$  мм; средняя высота снежного покрова 14 см; среднее годовое количество осадков 542,0 мм; испаряемость 890,8 мм;  $G = 1,20$ ;  $W = 75,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для изморози — 11,4 %; сильных ветров — 7,7 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 69,9 мм; продолжительность гололеда — 14,4 ч; изморози — 16,9 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 4,4 %.

**Третья зона (степи)** — слабо засушливая ( $Ис = 1,8-2,0$ ):

III.6. расположен в пределах южных склонов Среднерусской возвышенности (с высотами более 200 м); верхнее течение р. Дон; лесостепи на оподзоленных черноземах.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-10,0^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $19,6^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 29,6^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -361$  мм; средняя высота снежного покрова 21 см; среднее годовое количество осадков 410,0 мм; испаряемость 771,0 мм;  $G = 1,23$ ;  $W = 72,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для общих метелей — более 10,0 %; низовых — более 8,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 80,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 10,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 4,0 %.

III.7. находится в пределах Окско-Донской низменной равнины (с высотами 150–200 м); верховья р. Дон (с притоками: рр. Хопер, Медведица); лесостепи и степи на оподзоленных выщелоченных черноземах.  $K_k = 0,87$ ; сред. температура января  $-10,5^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $20,7^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 31,2^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -394$  мм; средняя высотав снежного покрова 24 см; среднее годовое количество осадков 277 мм; испаряемость 820 мм;  $G = 1,30$ ;  $W = 77,1\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 24,6 %; общих метелей — 14,4 %; гололеда — 9,9 %; изморози — 9,2 %; максимальная интенсивность ливней — 91,6 мм; продолжительность гололеда — 21,9 ч; изморози — 13,6 ч; низовых метелей — 18,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 8,5 %.

III.8. представлен в пределах Донской гряды (с высотами 50–100 м), развита овражно-балочная сеть; верхнее течение р. Дон; степи на черноземах обыкновенных, пойменные почвы.  $K_k = 0,86$ ; средняя температура января  $-8,6^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $20,8^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 29,4^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -416,0$  мм; средняя высота снежного покрова 17 см;

среднее годовое количество осадков 443 мм; испаряемость 859 мм;  $G = 1,28$ ;  $W = 74,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для общих метелей — 8,7 %; низовых — 6,7 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 84,2 мм; продолжительность гололеда — 24,1 ч; изморози — 11,2 ч; обобщенная повторяемость — 4,2 %.

III.9. находится в пределах Азово-Кубанской низменности (с высотами более 50 м), а также на восточных склонах Ставропольской возвышенности (высоты более 300 м); долины рр. Ея, Кума, побережье Азовского моря; степи на черноземах обыкновенных, плавни.  $K_k = 0,86$ ; средняя температура января  $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -405,3\text{ мм}$ ; средняя высота снежного покрова 6,7 см; среднее годовое количество осадков 469,0 мм; испаряемость 874,0 мм;  $G = 1,34$ ;  $W = 71,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 28,1 %; изморози — 12,3 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 85,5 мм; продолжительность гололеда — 14,1 ч; изморози — 20,5 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 7,3 %.

III.10. включает Азово-Кубанскую низменность (с высотами до 50 м), северные склоны Ставропольской возвышенности (высоты до 400 м); верхнее течение р. Кубань, побережье Азовского моря; степи на черноземах обыкновенных, плавни.  $K_k = 0,86$ ; средняя температура января  $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 25,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -444,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков 481,0 мм; испаряемость 924,0 мм;  $G = 1,00$ ;  $W = 60,0\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для гололеда — 6,7 %; изморози — 12,3 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 88,9 мм; продолжительность гололеда — 11,2 ч; изморози — 7,2 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 2,7 %.

**Четвертая зона (сухие степи) — засушливая ( $Ис = 2,0-3,0$ ):**

IV.11. включает Окско-Донскую низменную равнину (с высотами 100–150 м); верхнее течение р. Дон (притоки — рр. Хопер, Медведица); лесостепи и степи на оподзоленных выщелоченных черноземах.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-10,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $20,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 31,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = 468,2\text{ мм}$ ; средняя высота снежного покрова 10 см; среднее годовое количество осадков 383,0 мм; испаряемость 855,2 мм;  $G = 1,60$ ;  $W = 76,0\%$ ;

наибольшая повторяемость характерна для изморози — 14,3 %; общих метелей — 11,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 83,7 мм; продолжительность изморози — 25,4 ч; гололеда — 11,2 %; обобщенная повторяемость ОЯ — 5,7 %.

IV.12. находится в пределах юга Приволжской возвышенности (150–200 м), Доно-Донецкой возвышенной равнины (с высотами более 150 м), северных склонов Ергеней (до 150 м); среднее течение рр. Дон, Волга, Волгоградское водохранилище; сухие степи на каштановых почвах, черноземах южных.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-8,8^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,1^\circ\text{C}$ ;  $A = 29,9^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -519,0$  мм; средняя высота снежного покрова 8,7 см; среднее годовое количество осадков 395,0 мм; испаряемость 914,0 мм;  $G = 1,84$ ;  $W = 80,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для гололеда — 10,2 %; изморози — 8,2 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 47,9 мм; продолжительность гололеда — 42,5 ч; изморози — 15,3 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 3,7 %.

IV.13. расположен в пределах Донецкого кряжа (высоты до 200 м), а также Донно-Сальской возвышенной равнины (высоты до 150 м); среднее течение р. Дон; сухие дерновинно-злаковые степи на каштановых почвах, черноземах южных.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-7,2^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,3^\circ\text{C}$ ;  $A = 28,5^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -534,7$  мм; средняя высота снежного покрова 4 см; среднее годовое количество осадков 393,5 мм; испаряемость 932,2 мм;  $G = 2,04$ ;  $W = 85,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози — 18,4 %; гололеда — 15,5 %; сильных ветров — 14,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 95,4 мм; продолжительность гололеда — 51,2 ч; изморози — 29,5 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 8,7 %.

IV.14. включает Нижнедонскую низменность (высоты до 5 м), Доно-Сальскую возвышенную равнину (до 150 м), а также возвышенность Ергени (до 200 м); рр. Дон, Волга, Волгоградское и Цимлянское водохранилища; сухие степи на каштановых почвах, пойменные почвы.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-6,9^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,2^\circ\text{C}$ ;  $A = 29,1^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -628,0$  мм; средняя высота снежного покрова 7,6 см; среднее годовое количество осадков 383,6 мм; испаряемость 1011,5 мм;  $G = 2,25$ ;  $W = 90,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 13,7 %; гололеда — 9,7 %; максимальная интенсивность сильных дождей

и ливней — 62,9 мм; продолжительность гололеда — 37,7 ч; изморози — 15,9 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 5,8 %.

IV.15. расположен в пределах Азово-Кубанской низменности (с высотами до 50 м), Манычской низменности (50–100 м), Доно-Егорлыкской равнины (до 130 м), а также на северных склонах Ставропольской возвышенности (300–350 м); долина рр. Дон, Кума (с притоками), оросительные каналы, Пролетарское водохранилище, побережье Азовского моря; сухие степи на каштановых почвах, солонцы, плавни.  $K_k = 0,86$ ; средняя температура января  $-4,9^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,6^\circ\text{C}$ ;  $A = 27,5^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -543,0$  мм; средняя высота снежного покрова 5,1 см; среднее годовое количество осадков 416,0 мм; испаряемость 959,0 мм;  $G = 1,36$ ;  $W = 68,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для общих метелей — 9,8 %; гололеда — 9,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 106,4 мм; продолжительность гололеда — 31,7 ч; изморози — 12,3 ч; обобщенная повторяемость — 5,0 %.

IV.16. включает территорию Прикаспийской низменности (высоты более 50 м); среднее течение р. Кума; сухие степи на каштановых почвах;  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-4,0^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $23,4^\circ\text{C}$ ;  $A = 27,4^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -556,0$  мм; среднее годовое количество осадков 417,0 мм; испаряемость 973,0 мм;  $G = 2,58$ ;  $W = 105,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози и гололеда — 8,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 60,0 мм; продолжительность гололеда — более 20,0 ч; изморози — более 15,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 4,0 %.

IV.17. представлен Доно-Донецкой возвышенной равниной (высоты до 150 м); среднее течение р. Дон, Волгоградское водохранилище; сухие степи на каштановых почвах.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-8,2^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,2^\circ\text{C}$ ;  $A = 30,4^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -516,0$  мм; среднее годовое количество осадков 468,0 мм; испаряемость 984,0 мм;  $G = 1,57$ ;  $W = 82,1$  %; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 22,7 %; общих метелей — 12,2 %; низовых — 9,8 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 75,6 мм; продолжительность гололеда — 37,1 ч; изморози — 27,9 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 7,9 %.

IV.18. включает территорию Нижнедонской низменности (высоты до 5 м), Манычскую низменность (до 50 м), а также восточные и

северо-западные склоны Ставропольской возвышенности (более 300 м); долина р. Дон, Веселовское водохранилище; сухие степи на каштановых почвах, опустыненные степи на бурых полупустынных почвах, солонцы, пойменные почвы.  $Kk = 0,86$ ; средняя температура января  $-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 26,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -502,0\text{ мм}$ ; средняя высота снежного покрова  $2,5\text{ см}$ ; среднее годовое количество осадков  $415,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $916,8\text{ мм}$ ;  $G = 1,7$ ;  $W = 82,2\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для изморози —  $7,6\text{ \%}$ ; гололеда —  $5,4\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней —  $64,6\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда —  $15,2\text{ ч}$ ; изморози —  $12,9\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ —  $2,9\text{ \%}$ .

IV.19. включает восточные склоны Ставропольской возвышенности (высоты  $200\text{--}300\text{ м}$ ); верхнее течение р. Кума; сухие степи на каштановых почвах.  $Kk = 0,86$ ; средняя температура января  $-3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 26,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -494,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков  $420,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $914,0\text{ мм}$ ;  $G = 1,24$ ;  $W = 65,1\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для изморози —  $10,0\text{ \%}$ ; гололеда —  $8,0\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней —  $60,0\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда — более  $20,0\text{ ч}$ ; изморози — более  $15,0\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ —  $4,0\text{ \%}$ .

**Пятая зона (полупустыни)** — очень засушливая ( $Ис = 3,0\text{--}4,0$ ):

V.20. расположен в пределах Низких аккумулятивных равнин За-волжья (высоты менее  $50\text{ м}$ ); долина р. Волга; сухие и опустыненные степи на каштановых почвах.  $Kk = 0,88$ ; средняя температура января  $-11,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $21,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 33,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -631,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков  $301,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $932,0\text{ мм}$ ;  $G = 2,15$ ;  $W = 83,3\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость изморози —  $12,0\text{ \%}$ ; общих метелей —  $10,0\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — более  $80,0\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда — более  $20,0\text{ ч}$ ; изморози — более  $30,0\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ — более  $6,0\text{ \%}$ .

V.21. включает территорию Низких аккумулятивных равнин За-волжья (высоты более  $50\text{ м}$ ); долина р. Волга; сухие и опустыненные степи на каштановых и бурых полупустынных почвах, солонцы.  $Kk = 0,88$ ; средняя температура января  $-10,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 33,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -723,0\text{ мм}$ ; средняя высота

снежного покрова 4,5 см; среднее годовое количество осадков 295,3 мм; испаряемость 1018,0 мм;  $G = 1,48$ ;  $W = 48,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози — 12,2 %; сильных ветров — 10,9 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 64,5 мм; продолжительность изморози — 30,1 ч; гололеда — 10,7 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 5,8 %.

V.22. находится в пределах Низких аккумулятивных равнин Заволжья (менее 50 м); оз. Эльтон; дерновинно-полынно-злаковые опустыненные степи на бурых полупустынных почвах.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-10,7$  °С; средняя температура июля  $23,4$  °С;  $A = 34,1$  °С;  $Q - E = -856,0$  мм; среднее годовое количество осадков 292,0 мм; испаряемость 1148,0 мм;  $G = 3,16$ ;  $W = 86,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози — 18,4 %; гололеда — 16,6 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 94,3 мм; продолжительность гололеда — 36,9 ч; изморози — 33,7 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 7,8 %.

V.23. расположен частично на территории Низких аккумулятивных равнин Заволжья (высоты более 50 м), а также в пределах возвышенности Ергени (высоты до 200 м); долина р. Волга (Ахтуба); дерновинно-полынно-злаковые опустыненные степи на бурых полупустынных почвах.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-9,1$  °С; средняя температура июля  $22,7$  °С;  $A = 31,8$  °С;  $Q - E = -776,5$  мм; средняя высота снежного покрова 7,3 см; среднее годовое количество осадков 298,0 мм; испаряемость 1059,0 мм;  $G = 2,6$ ;  $W = 77,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 14,8 %; гололеда — 14,4 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 51,2 мм; продолжительность гололеда — 57,2 ч; изморози — 24,1 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 7,2 %.

V.24. включает Сало-Манычскую возвышенность (более 100 м), а также возвышенность Ергени (до 200 м); долина р. Дон (с притоками); опустыненные степи на бурых пустынных почвах.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-7,0$  °С; средняя температура июля  $22,3$  °С;  $A = 29,3$  °С;  $Q - E = -688,0$  мм; средняя высота снежного покрова 9,0 см; среднее годовое количество осадков 331,5 мм; испаряемость 1019,5 мм;  $G = 2,1$ ;  $W = 78,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 18,3 %; изморози — 16,8 %; гололеда — 15,7 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 66,2 мм; продолжительность гололеда — 60,2 ч; изморози — 32,3 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 8,9 %.

V.25. находится в Каспийском море — ст. Укатный остров;  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-6,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -569,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков  $200,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $769,0\text{ мм}$ ;  $G = 4,6$ ;  $W = 82,0\text{ \%}$ .

V.26. включает территорию Манычской низменности (высоты менее  $50\text{ м}$ ); оз. Маныч-Гудило; полупустыни на бурых пустынных почвах;  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-5,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 28,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -728,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков  $359,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $1087,0\text{ мм}$ ;  $G = 2,33$ ;  $W = 81,0\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для изморози —  $12,0\text{ \%}$ ; общих метелей и гололеда —  $8,0\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее  $80,0\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда — менее  $20,0\text{ ч}$ ; изморози — более  $15,0\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ — более  $2,0\text{ \%}$ .

V.27. расположен в пределах Ставропольской возвышенности (более  $150\text{ м}$ ); среднее течение р. Кума; сухие и опустыненные степи на каштановых и бурых пустынных почвах.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $23,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 27,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -697,5\text{ мм}$ ; средняя высота снежного покрова  $4,5\text{ см}$ ; среднее годовое количество осадков  $307,5\text{ мм}$ ; испаряемость  $985,0\text{ мм}$ ;  $G = 1,69$ ;  $W = 65,0\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для гололеда —  $11,6\text{ \%}$ ; сильных ветров —  $11,5\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней —  $61,5\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда —  $39,7\text{ ч}$ ; изморози —  $11,8\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ —  $4,5\text{ \%}$ .

### Шестая зона (пустыни) — сухая ( $I_c = 4,0-5,0$ ):

VI. 28. находится в пределах Низких аккумулятивных равнин Заволжья (высоты до  $50\text{ м}$ ); долина р. Волга (Ахтуба); полупустыни и пустыни на бурых пустынных почвах.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-9,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $22,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 32,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -846,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков  $256,0\text{ мм}$ ; испаряемость  $1102,0\text{ мм}$ ;  $G = 3,5$ ;  $W = 85,3\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для изморози —  $15,9\text{ \%}$ ; сильных ветров —  $14,7\text{ \%}$ ; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней —  $84,7\text{ мм}$ ; продолжительность гололеда —  $39,77\text{ ч}$ ; низовых метелей —  $4,6\text{ ч}$ ; обобщенная повторяемость ОЯ —  $7,0\text{ \%}$ .

VI. 29. включает Низкие аккумулятивные равнины Заволжья ( $0-50\text{ м}$ , до  $-7\text{ м}$ ), а также возвышенность Ергени (менее  $100\text{ м}$ );

оз. Баскунчак, долина р. Волга (Ахтуба), оз. Сарпа; пустыни и полупустыни на бурых пустынных почвах, солонцы, пойменные почвы.  $K_k = 0,89$ ; средняя температура января  $-8,7$  °С; средняя температура июля  $23,5$  °С;  $A = 32,1$  °С;  $Q - E = -918,0$  мм; средняя высота снежного покрова  $2,8$  см; среднее годовое количество осадков  $237,3$  мм; испаряемость  $1155,5$  мм;  $G = 3,2$ ;  $W = 77,3$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози — более  $16,0$  %; гололеда — более  $14,0$  %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — более  $60,0$  мм; продолжительность гололеда — менее  $40,0$  ч; изморози — более  $25,0$  ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее  $7,0$  %.

VI. 30. расположен на севере Прикаспийской низменности (0–50 м, отдельные отметки до  $-7$  м); дельтовая часть р. Волга, побережье Каспийского моря; солянковые пустыни на бурых пустынных почвах, пески, пойменные почвы.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-6,5$  °С; средняя температура июля  $23,3$  °С;  $A = 29,8$  °С;  $Q - E = -765,5$  мм; средняя высота снежного покрова  $5,0$  см; среднее годовое количество осадков  $203,0$  мм; испаряемость  $968,5$  мм;  $G = 3,9$ ;  $W = 79,0$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози —  $8,9$  %; гололеда —  $8,9$  %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней —  $52,0$  мм; продолжительность гололеда —  $29,2$  ч; изморози —  $23,4$  ч; обобщенная повторяемость ОЯ —  $4,1$  %.

VI. 31. находится в пределах южной части Прикаспийской низменности (высоты от  $50-0$  м и менее); дельта р. Волга, побережье Каспийского моря; пойменные почвы, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-6,1$  °С; средняя температура июля  $22,7$  °С;  $A = 28,8$  °С;  $Q - E = -610,0$  мм; среднее годовое количество осадков  $155,0$  мм; испаряемость  $765,0$  мм;  $G = 3,7$ ;  $W = 75,5$  %; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — более  $10,0$  %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее  $40,0$  мм; продолжительность гололеда — менее  $40,0$  ч; изморози — менее  $20,0$  ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее  $2,0$  %.

VI. 32. включает крайнего юга Прикаспийской низменности (высоты менее  $0$  м); побережье Каспийского моря; солянковые эфемеро-попынные пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-5,0$  °С; средняя температура июля  $22,9$  °С;  $A = 27,9$  °С;  $Q - E = -640,0$  мм; среднее годовое количество осадков  $209,0$  мм; испаряемость  $849,0$  мм;  $G = 2,97$ ;  $W = 72,1$  %; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози —

зи — более 10,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 40,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 20,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее 2,0 %.

VI. 33. частично находится на юго-западе Прикаспийской низменности, а также на побережье Каспийского моря (высоты 50–0 м и менее); отдельные метеостанции — ст. Искусственный остров — расположены в пределах акватории Каспийского моря; солянковые эфемерово-полынные пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 29,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -771,3\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков 210,5 мм; испаряемость 981,8 мм;  $G = 3,97$ ;  $W = 83,0\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — более 10,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 40,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 20,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее 2,0 %.

VI. 34. расположен на западном побережье Каспийского моря, в пределах Прикаспийской низменности (отметки высот до  $-20\text{ м}$ ); долина р. Кума; солянковые, эфемерово-полынные пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $23,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 27,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -797,0\text{ мм}$ ; среднее годовое количество осадков 217,0 мм; испаряемость 1014 мм;  $G = 3,95$ ;  $W = 84,9\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — более 10,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 40,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 20,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее 2,0 %.

VI. 35. включает северную часть побережья Каспийского моря, на территории Прикаспийской низменности (высоты до  $-3\text{ м}$ ); встречаются мелководные соленые озера; солянковые и эфемерово-полынные пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-5,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; средняя температура июля  $24,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $A = 29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $Q - E = -725,0\text{ мм}$ ; средняя высота снежного покрова 3,5 см; среднее годовое количество осадков 230,0 мм; испаряемость 945,5 мм;  $G = 2,95$ ;  $W = 75,8\text{ \%}$ ; наибольшая повторяемость характерна для сильных ветров — 10,0 %; гололеда — 7,7 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 73,6 мм;

продолжительность гололеда — 31,6 ч; изморози — 16,9 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 3,6 %.

VI. 36. находится в пределах Прикаспийской низменности (северо-запад, высоты до -8 м); эфемерово-солянковые пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января -6,6 °C; средняя температура июля 24,1 °C;  $A = 30,7$  °C;  $Q - E = -812,0$  мм; среднее годовое количество осадков 222,0 мм; испаряемость 1034,0 мм;  $G = 3,7$ ;  $W = 78,9$  %; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — более 10,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — более 40,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — более 25,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 2,0 %.

**Седьмая зона (пустыни) — очень сухая ( $I_{с} \leq 5,0$ ):**

VII. 37. расположен на территории Низких аккумулятивных равнин Заволжья (с высотами менее 50 м), а также в северной части Прикаспийской низменности (отдельные отметки менее — 15 м); долина р. Волга (Ахтуба); эфемерово-солянковые пустыни на бурых пустынных почвах, пойменные почвы, пески.  $K_k = 0,88$ ; средняя температура января -8,6 °C; средняя температура июля 23,7 °C;  $A = 32,3$  °C;  $Q - E = -959,3$  мм; среднее годовое количество осадков 206,0 мм; испаряемость 1166,0 мм;  $G = 4,19$ ;  $W = 81,4$  %; наибольшая повторяемость характерна для изморози — 13,2 %; гололеда — 13,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — 40,6 мм; продолжительность гололеда — 51,7 ч; изморози — 28,1 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — 5,2 %.

VII. 38. находится на северо-западе Прикаспийской низменности (высоты менее 0 м); эфемерово-солянковые пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января -6,7 °C; средняя температура июля 23,8 °C;  $A = 30,5$  °C;  $Q - E = -986,0$  мм; среднее годовое количество осадков 221,0 мм; испаряемость 1207,0 мм;  $G = 3,78$ ;  $W = 77,5$  %; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — не менее 8,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 60,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 20,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее 2,0 %.

VII. 39. представляет собой северную часть побережья Каспийского моря с высотными отметками до -17 м; пойменные почвы,

эфмерово-солянковые пустыни на бурых пустынных почвах, пески.  $K_k = 0,87$ ; средняя температура января  $-5,7^\circ\text{C}$ ; средняя температура июля  $23,5^\circ\text{C}$ ;  $A = 29,2^\circ\text{C}$ ;  $Q - E = -807,0$  мм; среднее годовое количество осадков 182,0 мм; испаряемость 989,0 мм;  $G = 4,17$ ;  $W = 81,3\%$ ; наибольшая повторяемость характерна для гололеда и изморози — не менее 8,0 %; максимальная интенсивность сильных дождей и ливней — менее 60,0 мм; продолжительность гололеда — менее 40,0 ч; изморози — менее 20,0 ч; обобщенная повторяемость ОЯ — менее 2,0 %.

### 5.3. Гидрография и растительность

Разнообразие физико-географических условий предопределили в исследуемом регионе (Нижний Дон, Нижняя Волга и Предкавказье) наличие как равнинных, так и горных рек. Водоразделом, отделяющим реки бассейна Азовского моря от бассейна Каспийского, является Ставропольская возвышенность. По объему стока значительное место принадлежит Азовскому бассейну; однако по площади водосборной территории лидирует Каспийский. Для севера изучаемого региона (Калачская возвышенность, Донская гряда, Донецко-Донская возвышенная равнина, Приволжская возвышенность, частично Прикаспийская низменность) в целом характерен субмеридиональный тип рисунка речной сети. Однако на юге (возвышенность Ергени, Азово-Кубанская равнина и Терско-Кумская низменность) широко представлен субширотный тип рисунка речной сети. Наиболее возвышенные участки (Донецкий кряж, Ставропольская возвышенность) имеют радиальный тип рисунка речной сети. Густота речной сети возрастает на западе и в центре изучаемой территории (по мере увеличения осадков): от 3–7 км на 100 км<sup>2</sup> (на западе) до 1–0,5 км на 100 км<sup>2</sup> (на востоке).

Недостаток осадков (положение в степной и пустынной зонах) явился причиной преобладания небольших рек, иногда пересыхающих. К самым крупным рекам Нижнего Дона, Нижней Волги и Предкавказья относятся: Дон, Кума, Терек, Кубань, Волга. Практически все они образуют дельты; характерно преобладание левых притоков (рис. 21).

В пределах изучаемого региона представлены также горные и равнинные озера. По генезису их можно подразделить на старич-

Азовского моря создает условия для накопления тепла, в особенности в прибрежной полосе. Самые высокие температуры воды в море отмечены в осенне-зимний период. Это объясняется не только физическими причинами, но и притоком вод Черного моря. Среднегодовая температура воздуха колеблется от 9 °С на севере до 11 °С на юге побережья Азовского моря. Наибольшие температуры (+40 °С) отмечены в июле-августе, самые низкие (менее -30 °С) — в январе-феврале. Термическое воздействие Каспийского моря на прилежащие полупустынные и пустынные районы не столь отчетливо выражено, как в случае Азовского моря. Это связано не только с большими глубинами, но и с большей площадью Каспийского моря. Только осенью, когда возможно поступление холодных континентальных воздушных масс с востока, водоем более нагрет, чем прилегающая суша. Среднегодовые температуры воздуха северного побережья Каспийского моря увеличиваются от 7,8–7,9 °С на северо-востоке до 10,3 — 11,4 °С на северо-западе рассматриваемого участка. Абсолютный минимум температуры воздуха изменяется от -37 °С (на северо-востоке) до -27 °С (на северо-западе). Колебания абсолютного максимума температуры воздуха составляют 37 — 41 °С, увеличение которого имеет место на северо-востоке побережья.

## **6. Особенности циркуляции атмосферы в пределах южных равнин России**

### **6.1. Среднемноголетняя или нормальная (фоновая) циркуляция атмосферы**

Изучение тенденций изобарической поверхности (изобары проведены через 4 гПа) позволяют определить положения основных и сезонных центров действия атмосферы, а также их взаимодействия, и, вместе с тем, степень возмущенности поля соответственно. Это, в свою очередь, можно использовать как некоторый фактор, приводящий к тем или иным аномалиям погоды [112]. Изучение расстановки максимумов и минимумов, а также особенностей полей, требует значительной площади изучаемой территории, поэтому в данном случае избрана Европейская территория России.

В результате анализа помесечных карт приземного давления по многолетним данным (1873–1997 гг.) были получены следующие выводы:

- от января к апрелю включительно наиболее активными являются Исландский минимум, отрог Азиатского максимума и собственно Азорский максимум, то есть именно взаимодействие данных центров действия формируют барическое поле в данный момент времени (рис. 23, 24);
- от мая к сентябрю возрастает активность Азорского максимума, усиливаясь в июле, кроме того, в этот период возникает Средиземноморский минимум, причем между ними возникает взаимодействие, обостряясь в июле (рис. 25, 26);
- в октябре—декабре незначительно активизируется отрог Арктического максимума, влияние которого по многолетним данным не столь велико (рис. 27, 28);
- наибольшей активностью барическое приземное поле Европейской территории России во внутригодовом ходе отличается в ноябре—декабре, когда наиболее усилены градиенты, о чем свидетельствуют тенденции изобарической поверхности (рис. 28).

Согласно рассчитанным индексам циркуляции А. А. Каца, в среднемноголетнем выражении (1948–1997 гг.) территории (60–40° с.ш. и 30–50° в.д.) свойственно преобладание широтной циркуляции (западно-восточный перенос) с интенсивностью 0,87 гПа/100 км. Меридиональная циркуляция (северно-южный перенос), в свою очередь, не имеет определяющего значения, ее интенсивность не превышает 0,18 гПа/100 км.

То есть, так называемый фоновый режим создает положительная широтная циркуляция и, в меньшей степени, отрицательная меридиональная, с небольшой интенсивностью при отсутствии возмущающих факторов.

Однако, например, в 1969 году преобладали отрицательная широтная (восточно-западная) и положительная меридиональная циркуляции (южно-северный перенос). Интенсивность восточно-западного переноса увеличилась почти в 2 раза и достигла –2,09 гПа/100 км. Соответствующее возмущение атмосферы и нарушение ее нормальной циркуляции, возможно, было обусловлено увеличением солнечной активности в 1969 году и, как следствие, с усилением потока элементарных частиц высокой энергии по направлению к Земле.

*Индекс меридиональной циркуляции ( $J_m$ ).* Индекс в среднемноголетнем выражении изменялся от –0,05 (минимальная величина) до +0,18 гПа/100 км соответственно). При этом превалировал южно-

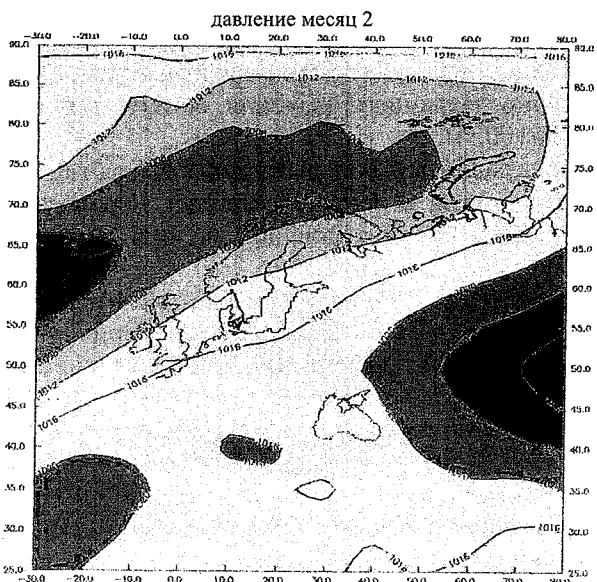
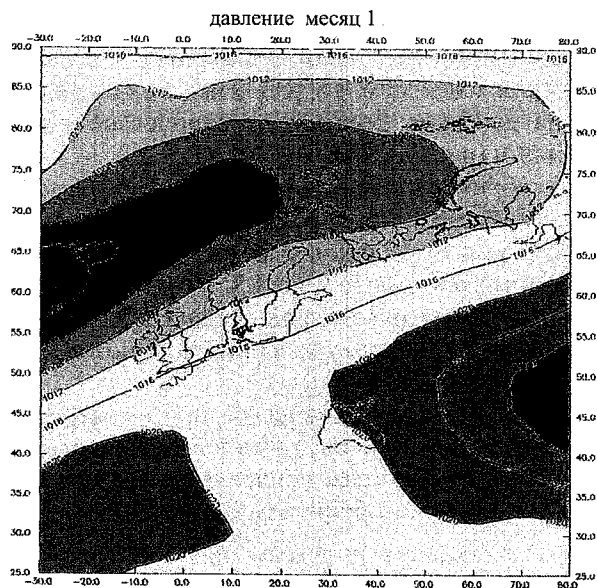


Рис. 23. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в январе и феврале.

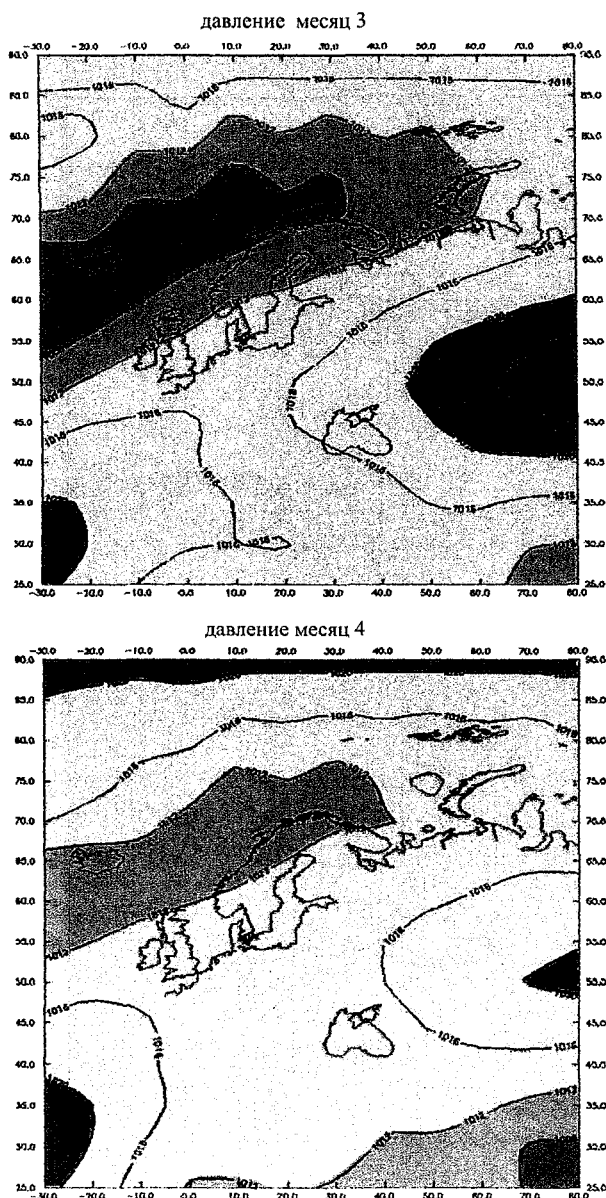
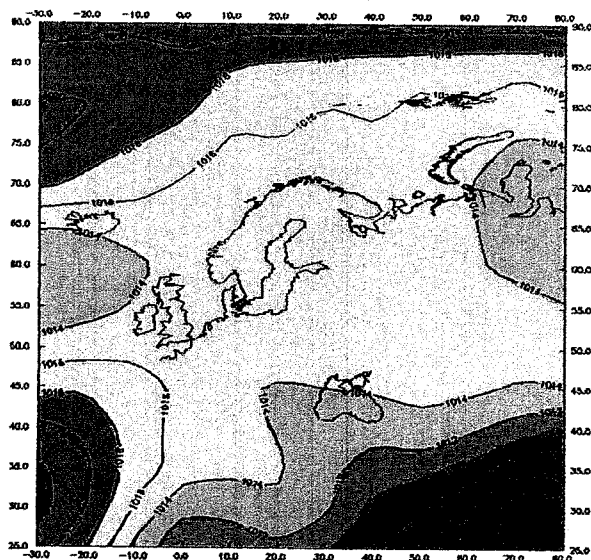


Рис. 24. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в марте и апреле.

давление месяц 5



давление месяц 6

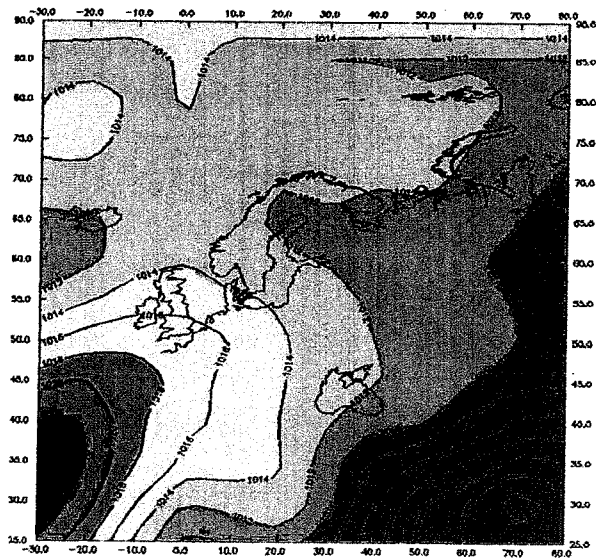


Рис. 25. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в мае и июне.

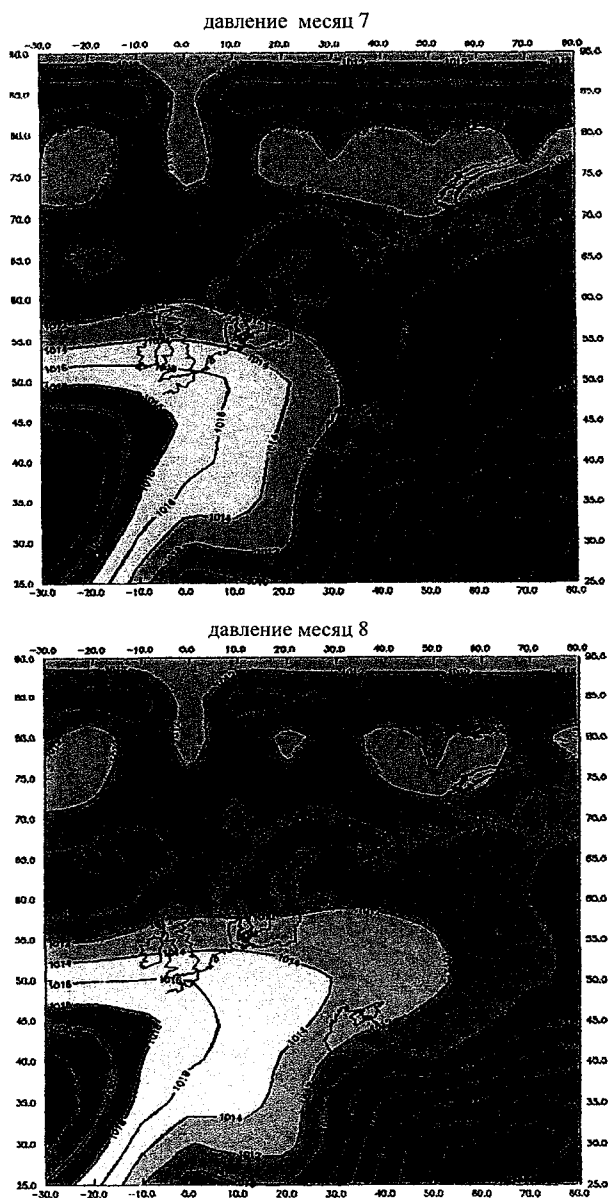


Рис. 26. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в июле и августе.

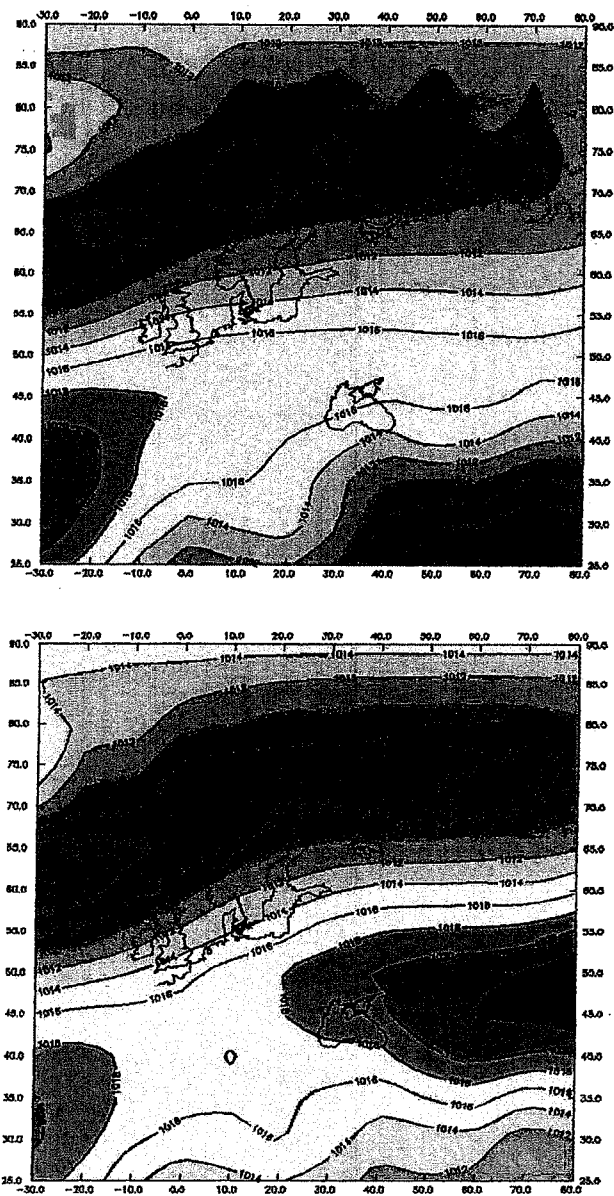


Рис. 27. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в сентябре и октябре.

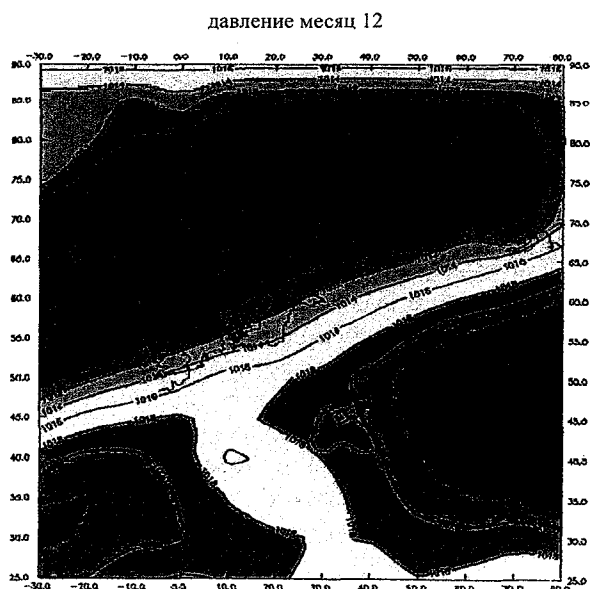
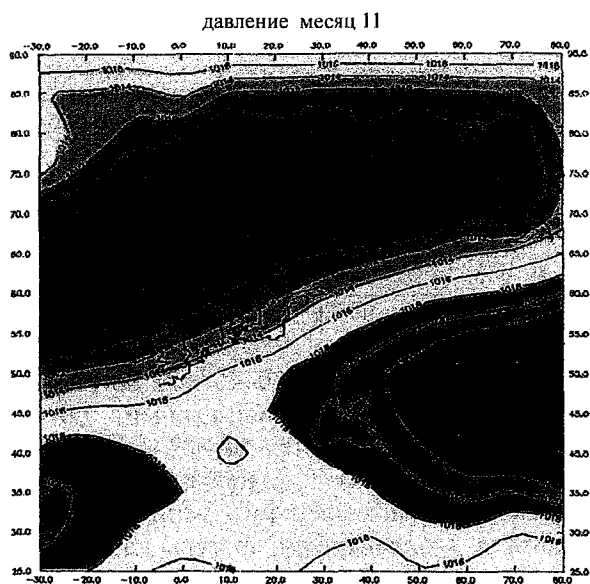


Рис. 28. Многолетние тенденции изобарической поверхности 1000 гПа в ноябре и декабре.

Таблица 6

Индекс меридиональной циркуляции ( $J_m$ ), гПа/100 км

| Географическая широта,<br>° северной широты | Географическая долгота,<br>° восточной долготы |          |          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|----------|----------|
|                                             | 30° в.д.                                       | 40° в.д. | 50° в.д. |
| 60–55 °с.ш.                                 | 0,14                                           | 0,16     | 0,12     |
| 55–50 °с.ш.                                 | 0,08                                           | 0,15     | 0,16     |
| 50–45 °с.ш.                                 | –0,01                                          | 0,14     | 0,14     |
| 45–40 °с.ш.                                 | –0,5                                           | 0,18     | 0,04     |

северный перенос (на 45–40° с.ш. и 30–40° в.д. по многолетним данным большие значения имеет северно-южный). Более высокими значениями индекса характеризуются 40–50° в.д. (увеличивается от 30 к 50° в.д. с запада на восток). Т. е., подтверждается выявленная в работах А. А. Каца, что интенсивность меридиональной циркуляции, определяемая по градиенту температуры вдоль параллелей, зависит от степени близости к побережью океана (табл. 6).

Внутригодовой ход индекса рассмотрим на примере отдельных лет за исследуемый период с 1948 по 1997 гг., с повышенной частотой ОЯ.

Так, все зимние месяцы 1965 г., а именно, январь, февраль и декабрь отличались положительными значениями индекса, что означает преобладание южно-северного переноса, при этом наибольшие значения приходились на 60-е (январь, декабрь) и 50-е (февраль) широты. Весной возникали случаи северно-южного переноса, а именно, на 40-х (в марте), 60, 55-х и 40-х (в мае) широтах. При этом интенсивность последнего была невелика (от –0,04 в марте до –0,28 гПа/100 км в мае). В летний период, в основном, преобладал северно-южный перенос, интенсивность которого была незначительна (от –0,01 в июне до –0,56 в июле и –0,43 гПа/100 км в августе). Отдельные случаи южно-северного переноса были отмечены на 55-х (в июне), 60-х (в июле) и на 60–55-х (в августе) широтах. Осенью также преобладал северно-южный перенос, наибольшей интенсивности достигая в октябре (до –0,84 на 60-х широтах).

Т. о., наибольшей активностью в 1965 г. отличалась меридиональная циркуляция (южно-северный перенос) в январе, а также в октябре (северно-южный перенос).

В 1966 г. положительный знак меридиональной циркуляции сохранялся с января по апрель и в ноябре-декабре. В остальные месяцы (с мая по октябрь) доминировал северно-южный перенос. При этом наибольшей интенсивностью отличались меридиональная (южно-северный перенос) циркуляция в декабре (до  $+2,51$  гПа/100 км). Минимальные величины ( $-0,33$  в июне;  $-0,47$  в июле;  $-0,40$  гПа/100 км в августе) наблюдались в летние месяцы. Северно-южный перенос имел повышенную интенсивность также в октябре (до  $-0,57$  гПа/100 км).

Характерной особенностью 1969 г. было нарушение известной ситуации преобладания отрицательной (северно-южный перенос) меридиональной циркуляции, а именно, в апреле и в августе интенсивность южно-северного переноса достигала  $+0,48$  гПа/100 км. Кроме того, наибольшая интенсивность положительной (южно-северный перенос) циркуляции наблюдалась в феврале. Вообще, в целом, можно отметить преобладание южно-северного переноса для 1969 г., при этом с апреля по октябрь имелись отдельные случаи отрицательной меридиональной циркуляции (северно-южный перенос).

В 1971 г. синоптическая ситуация также отличалась нестабильностью. Южно-северный перенос преобладал в январе, марте и ноябре. Северно-южный — только в июне соответственно. При этом стоит отметить весьма разнообразное сочетание переносов обоих знаков в феврале, апреле, мае, июле, августе, сентябре, декабре. Наибольшей интенсивностью южно-северный перенос отличался в марте (до  $+0,81$  гПа/100 км), а северно-южный в октябре (до  $-0,62$  гПа/100 км) соответственно. Весьма интересно отметить, что в августе на 60-х широтах меридиональный индекс был равен  $0,00$  гПа/100 км, что означает равенство интенсивности переносов обоих направлений.

Положительная циркуляция в 1976 г. (южно-северный перенос) преобладала в марте-апреле, а также в ноябре-декабре. В остальные месяцы наблюдалась циркуляция как положительная, так и отрицательная. При этом наибольшей интенсивностью южно-северный перенос отличался в марте (до  $+1,41$  гПа/100 км), декабре (до  $+1,71$  гПа/100 км), а также в ноябре (до  $+0,88$ ). Северно-южный соответственно повышенными значениями интенсивности — в октябре (до  $-0,72$ ).

В 1979 г. положительный знак меридиональной циркуляции сохранялся в январе, марте, ноябре и декабре. В остальные месяцы го-

да наблюдался как северно-южный, так и южно-северный переносы. Наибольшая интенсивность южно-северного переноса была характерна для января (+1,14 гПа/100 км), марта (+0,86 гПа/100 км), ноября (+0,73 гПа/100 км) и декабря (+0,64 гПа/100 км). Интересно, что интенсивность северно-южного переноса была весьма увеличена в июне (до -0,73 гПа/100 км), составляя, например, в октябре -0,46 гПа/100 км. Кроме того, изменилась и выявленная ранее тенденция: в отличие от предыдущих лет, в летние месяцы интенсивность меридиональной циркуляции не уменьшилась, а, скорее, возросла, достигнув максимума в июле. На 60–50-х широтах в апреле и сентябре интенсивность меридиональной циркуляции была равна нулю, что свидетельствует о равенстве переносов.

В 1987 г. южно-северный перенос преобладал только в феврале и ноябре. В остальные месяцы наблюдались оба переноса, что также указывает на неустойчивость синоптической ситуации.

*Индекс широтной (зональной) циркуляции ( $J_z$ ).* Среднемноголетний ход индекса характеризуется преобладанием западно-восточного переноса на 60–50-х широтах и восточно-западного на 50–40-х соответственно. Кроме того, имеет место некоторое уменьшение интенсивности циркуляции от 30 к 50-му меридиану, а также по параллелям: от 60 к 40-й, что объясняется известной зависимостью интенсивности от меридионально направленного градиента температуры (табл. 7).

Внутригодовой ход индекса зонального переноса удобно рассмотреть на примере отдельных лет.

Таблица 7

**Индекс широтной (зональной) циркуляции ( $J_z$ ),  
гПа/100 км**

| Географическая широта,<br>° северной широты | Географическая долгота,<br>° восточной долготы |          |          |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------|----------|----------|
|                                             | 30° в.д.                                       | 40° в.д. | 50° в.д. |
| 60–55 °С.ш.                                 | 0,44                                           | 0,43     | 0,48     |
| 55–50 °С.ш.                                 | 0,26                                           | 0,21     | 0,23     |
| 50–45 °С.ш.                                 | -0,04                                          | -0,16    | -0,16    |
| 45–40 °С.ш.                                 | -0,27                                          | -0,33    | -0,33    |

Так, 1965 г. отличался преобладанием западно-восточного переноса только в декабре (до  $+1,02$  гПа/100 км на 60-х широтах). В целом, в течение года на 50–40-х широтах преобладал восточно-западный перенос, достигая наибольшего значения в сентябре (до  $-0,90$  гПа/100 км) и августе (до  $-0,84$  гПа/100 км). Интересно также отметить, что в апреле на 60–40-х широтах преобладала восточно-западная циркуляция, составляя  $-0,73$ — $-0,72$  гПа/100 км на 55-х широтах.

В 1966 г. восточно-западный перенос преобладал в январе и декабре, достигая максимальной интенсивности в ноябре (до  $-1,18$  гПа/100 км) и декабре (до  $-1,12$  гПа/100 км). Западно-восточный, в свою очередь, доминировал в феврале с наибольшим значением интенсивности в сентябре ( $+1,41$  гПа/100 км). В остальные месяцы года имел место перенос обоих видов.

1969 г. отличался весьма разнородной синоптической ситуацией. Восточно-западный перенос наблюдался в августе и декабре, при наибольшей интенсивности в январе ( $-2,09$  гПа/100 км). Западно-восточный — в ноябре соответственно, при максимальной интенсивности в ноябре ( $+1,35$  гПа/100 км).

В 1971 г. западно-восточный перенос превалировал только в ноябре—декабре, при максимальной интенсивности в январе ( $+1,64$ ) и ноябре ( $+1,26$ ). В остальные месяцы можно отметить переносы обоих видов. Также интересно, что в данном году восточно-западный перенос в отдельном качестве не представлен.

В 1976 г. положительная зональная циркуляция (западно-восточный перенос) преобладала в январе, при наибольшей интенсивности в феврале ( $+0,91$  гПа/100 км). Восточно-западный перенос доминировал в августе, при максимальном значении интенсивности в феврале ( $-1,26$  гПа/100 км). В остальные месяцы имели место переносы обоих видов.

Отличительной особенностью 1979 г. является отсутствие в отдельном качестве какого-либо вида переноса. Во все месяцы года наблюдаются и западно-восточный, и восточно-западный переносы. Максимальное значение интенсивности составило  $+0,91$  гПа/100 км (сентябрь), минимальное  $-0,95$  гПа/100 км (май) соответственно.

1987 г. также характеризуется весьма разнородной синоптической ситуацией. Преобладание восточно-западного переноса наблюдается только в марте. При этом максимальная интенсивность данного переноса наблюдалась в октябре ( $-2,01$  гПа/100 км), наиболь-

шая интенсивность западно-восточного переноса — в феврале ( $+1,33 \text{ гПа}/100 \text{ км}$ ) соответственно.

Кроме вышеперечисленного, можно отметить весьма незначительное изменение численного значения индекса в разные сезоны года (в отличие от индекса меридиональной циркуляции); в отдельные годы интенсивность зонального индекса понижалась в апреле-мае (1979, 1987, 1966, 1969 гг.), а также в июле (1971, 1987 гг.).

## 6.2. Аномалии циркуляции и их проявления

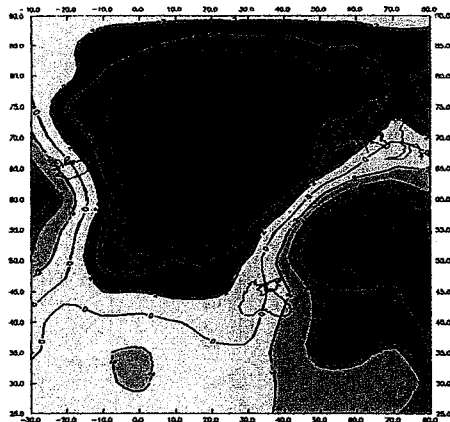
Анализ карт аномалий приземного давления для отдельных дат (случаев опасных явлений погоды) позволяет сделать следующие заключения:

- метели возникали при взаимодействии отрогов Арктического или Азиатского антициклонов с Черноморской депрессией, либо в результате смещения циклонов (рис. 29);
- в случаях сильных дождей, града, шквалов, смерчей (то есть, конвективных явлений) преобладало малоградиентное барическое поле, значит, очевидно влияние местных условий — тенденции подстилающей поверхности. В этом отношении, как указывалось выше, условия чрезвычайно благоприятные: морские акватории, возвышенности и прочее (рис. 17, 30, 31, 32);
- сильные ветры обуславливались либо взаимодействием отрогов Азиатского антициклона и Черноморской депрессией, либо циклонической деятельностью (рис. 18);
- гололедно-изморозевые явления были связаны с циклонической деятельностью (рис. 33).

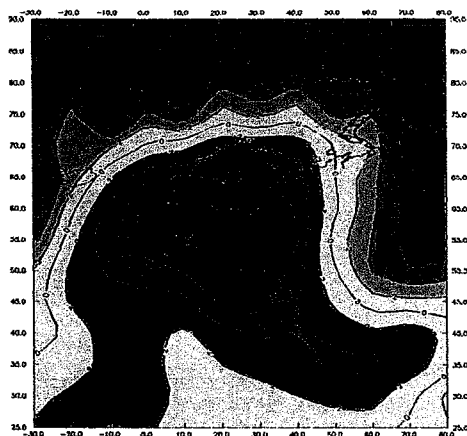
Т. о., анализ карт изобарической поверхности позволяет чрезвычайно точно определить тип ситуации, характерной для того или иного явления.

*Индексы циркуляции в случаях опасных явлений погоды.* В рассмотренных отдельных случаях ОЯ с 1950 по 2000 гг. наиболее часто наблюдалась положительная меридиональная циркуляция при изменении интенсивности от 1,33 до 13,80 гПа/100 км. Отрицательная широтная, в свою очередь, отличалась меньшей повторяемостью, а ее интенсивность составила от  $-0,21$  до  $-0,96 \text{ гПа}/100 \text{ км}$  соответственно.

давление месяц 1 1950



давление месяц 1 1973



давление месяц 1 1970

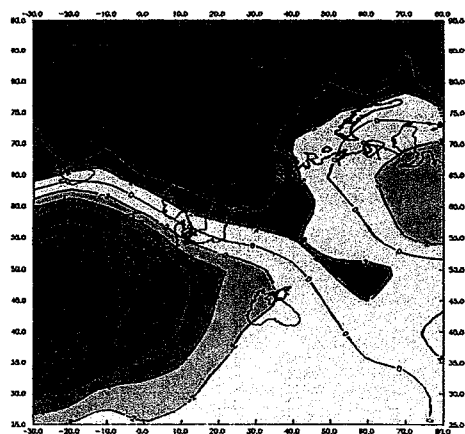
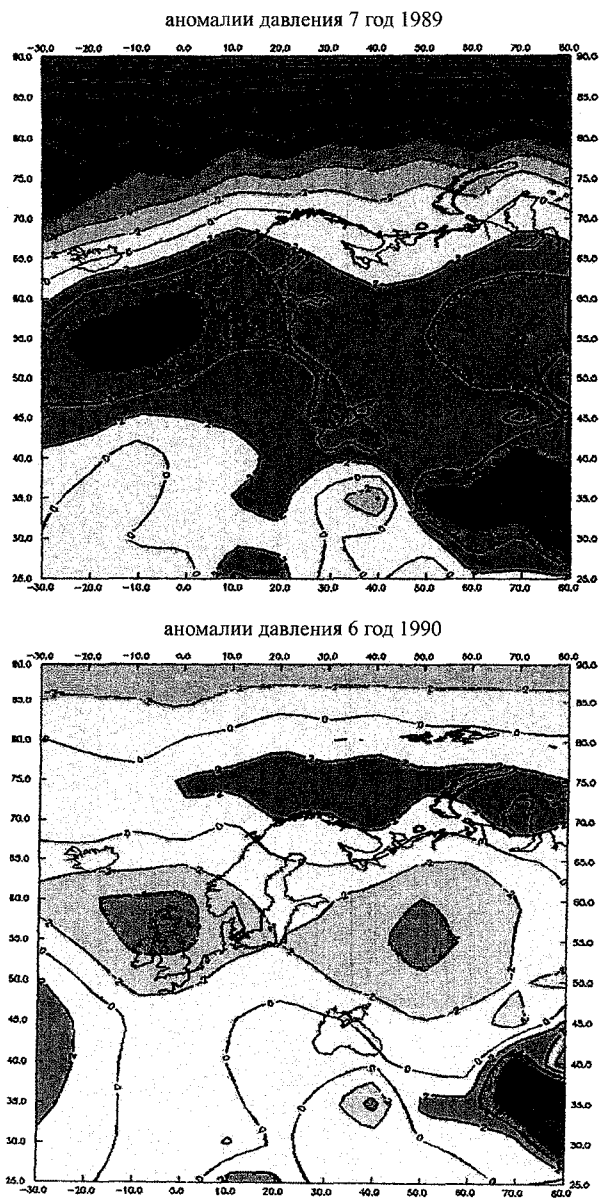
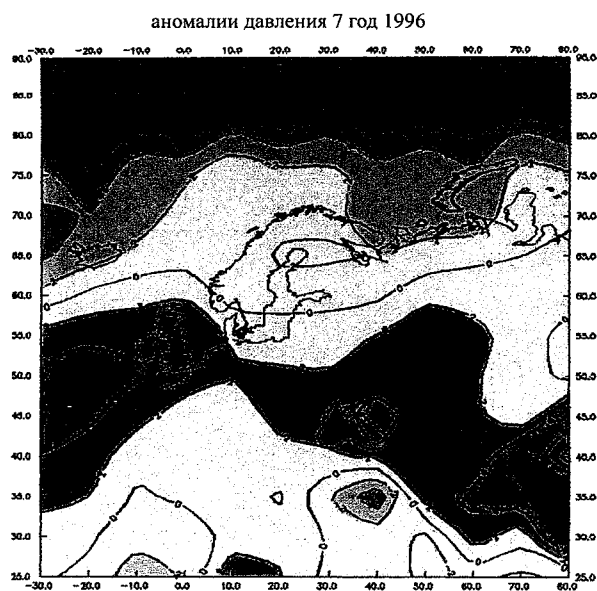
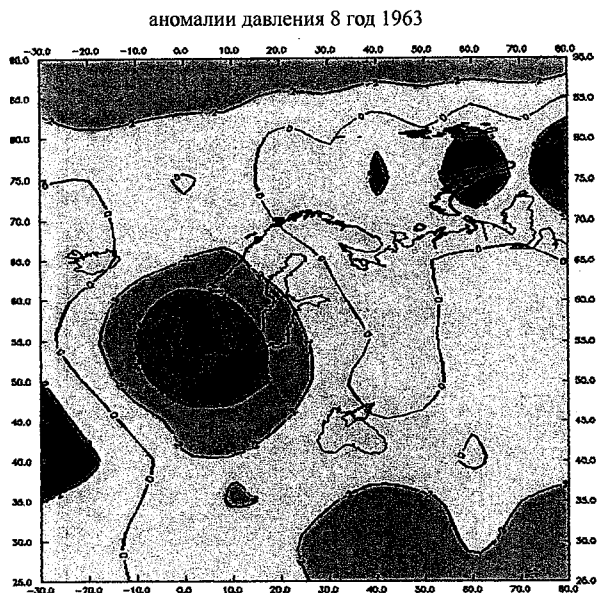


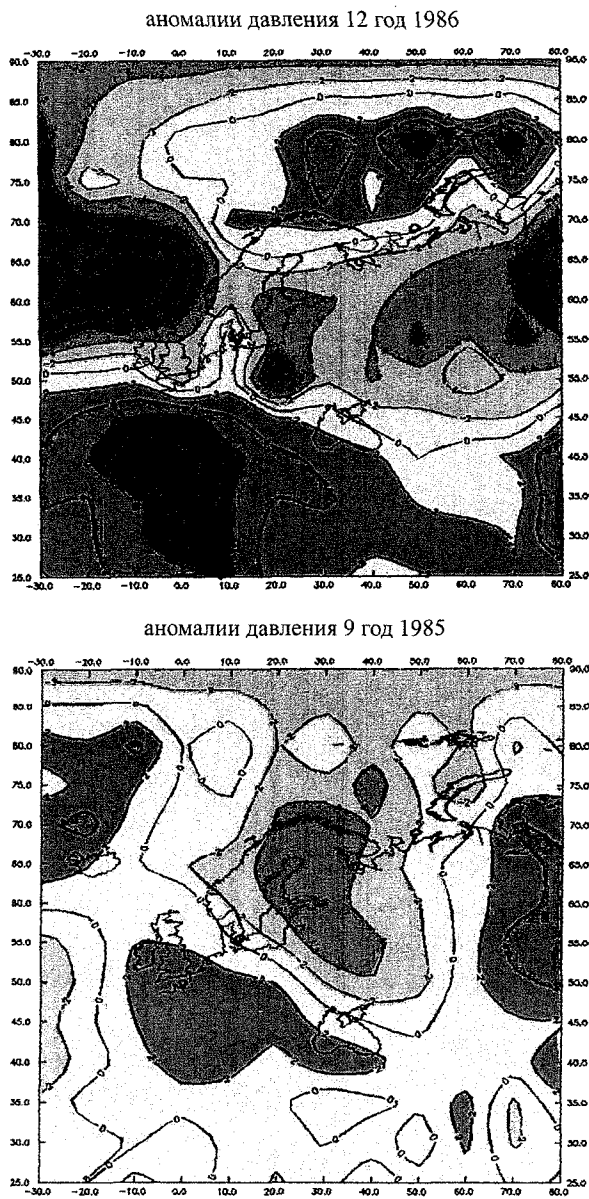
Рис. 29. Аномалии приземного давления в случаях метелей (январь 1950, 1970, 1973 гг.).



**Рис. 30.** Аномалии приземного давления в случаях града (июль 1989 г., июнь 1990 г.).

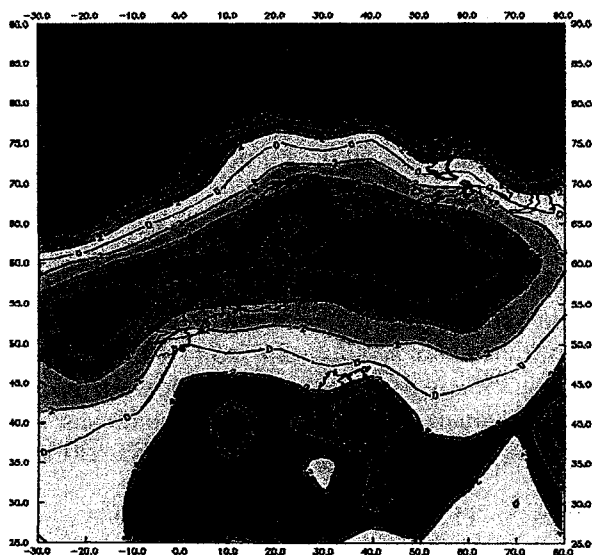


**Рис. 31.** Аномалии приземного давления в случаях шквалов (август 1963 г., июль 1996 г.).



**Рис. 32.** Аномалии приземного давления в случаях смерчей (декабрь 1986 г., сентябрь 1985 г.).

аномалии давления 12 год 1985



аномалии давления 2 год 1988

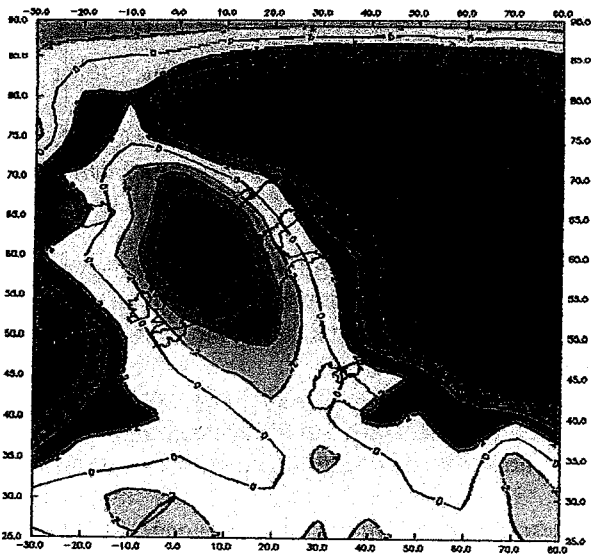


Рис. 33. Аномалии приземного давления в случаях гололедно-изморозевых явлений (декабрь 1985 г., февраль 1988 г.).

На равнинах юга России в числе изученных случаев *метелей* (6–12 января 1950 г., 18–20 января 1970 г., 30–31 января 1973 г.) присутствовали как меридиональная (северно-южный, южно-северный), так и широтная (восточно-западный перенос) циркуляции. Интенсивность зональной циркуляции при этом увеличивалась от 0,60 гПа/100 км (для широтной) до 1,70 гПа/100 км (для меридиональной) соответственно.

*Пыльные бури* (17–28 марта 1960 г., 28–31 августа 1965 г., 1–7 апреля 1966 г., 18 февраля 1971 г.) сопровождались исключительно меридиональной (южно-северный перенос) циркуляцией с интенсивностью 1,65 гПа/100 км.

В отношении *сильных ветров* (25 июня 1956 г., 26–27 февраля 1971 г., 6 ноября 1972 г.) имели место широтная (восточно-западный, западно-восточный перенос) и меридиональная (южно-северный перенос) с интенсивностью 0,42 и 1,55 гПа/100 км соответственно.

*Сильные дожди* (11 июля 1950 г., 8–9 июня 1966 г., 14–15 апреля 1966 г., 20–21 августа 1970 г.) возникали при меридиональной (северно-южный и южно-северный перенос) и широтной (восточно-западный перенос) циркуляций с интенсивностью 2,20 и 0,44 гПа/100 км соответственно.

Случаи *смерчей* (3 июня 1955 г., 1 сентября 1965 г., 28 и 29 мая 1968 г., 21 августа 1985 г., 22 декабря 1986 г., 6 сентября 1985 г.) были обусловлены в большинстве случаев меридиональной (южно-северный перенос), а также широтной (восточно-западный и западно-восточный переносы) циркуляциями с интенсивностью 13,80 и 0,80 гПа/100 км соответственно.

*Шквалы* (19 мая 1958 г., 20 июня 1962 г., 20 августа 1963 г.) сопровождались широтной (западно-восточный) и меридиональной (южно-северный и северно-южный перенос) с интенсивностью 0,20 и 5,50 гПа/100 км соответственно.

При *аномалиях температуры: жара* (24–26 июля 1952 г., 1–4 августа 1954 г.) устанавливалась широтная (западно-восточный и восточно-западный перенос) циркуляция с интенсивностью 0,21 гПа/100 км.

*Аномалии температуры: мороз* (24–28 ноября 1958 г., 6–8 декабря 1959 г., 17–18 февраля 1951 г.) были вызваны меридиональной (южно-северный и северно-южный) и широтной (восточно-запад-

ный перенос) циркуляциями с интенсивностью 3,44 и 0,29 гПа/100 км соответственно.

Случай *атмосферной засухи* (26–30 апреля 1950 г.) был обусловлен меридиональной (южно-северный перенос) циркуляцией при интенсивности 6,80.

*Гололед и изморозь* (12–14 февраля 1985 г., 25–27 декабря 1985 г., 22–26 февраля 1988 г.) возникали при установлении меридиональной (южно-северный) и широтной (западно-восточный перенос) циркуляций при интенсивности 1,33 и 0,96 гПа/100 км соответственно.

*Град* (22–23 июня 1969 г., 24 мая 1978 г.) сопровождался меридиональной (южно-северный) и широтной (восточно-западный перенос) циркуляциями при интенсивности 2,20 и 0,66 гПа/100 км соответственно.

Таким образом, в случаях опасных явлений погоды на юге России превалировала меридиональная циркуляция, а именно, южно-северный перенос (15 случаев, 50 % от общего). Широтная циркуляция отличалась меньшей интенсивностью, а также преобладал восточно-западный перенос.

Как показали исследования А. А. Каца, большие величины общего индекса циркуляции (отношение меридиональной к широтной циркуляции) выявляют значительные возмущения зонального поля и большие амплитуды волн ВПФЗ. За исследуемый период общий индекс циркуляции достигал максимального значения 19,40 гПа/100 км в 1985 г. (случай смерча), повышенными значениями также последний отличался в 1963 г. (9,80 гПа/100 км); в 1965 г. (4,50 гПа/100 км); в 1950 г. (6,80 гПа/100 км) соответственно.

Интересно отметить, что, очевидно, опасные явления погоды юга России чаще возникали при установлении меридиональной циркуляции (чаще южно-северный перенос) с интенсивностью не менее 1,10 гПа/100 км. Однако, по среднегодовым данным (1948–1989 гг.) в данном исследуемом районе (30–50° в.д. и 60–40° с.ш.) преобладает широтная циркуляция (западно-восточный перенос) с интенсивностью 0,87 гПа/100 км.

Отсюда, возникновению таких ОЯ, как сильные ветры и дожди, град, шквалы и смерчи, гололед и изморозь, метели и пыльные бури, высокие и низкие температуры воздуха и атмосферная засуха способствуют отклонения от нормальной формы циркуляции, прояв-

ляющиеся в виде смены ее знака и увеличения интенсивности. При этом большинство явлений было обусловлено сочетанием основных циркуляционных форм; данное разнообразие, в частности, удалось зафиксировать для приземных горизонтальных и вертикальных вихрей (смерчей и шквалов). Однако, отдельные случаи, а именно: пыльные бури и высокие температуры воздуха, были вызваны только одной, определенной формой: положительной меридиональной и отрицательной широтной циркуляциями соответственно.

Таким образом, наибольшие возмущения зонального поля и значительные амплитуды волн ВПФЗ вызывают усиление интенсивности аномальных форм циркуляции, что способствует появлению различных ОЯ, а в большей степени — горизонтальных (шквалов) и вертикальных (смерчей) вихрей.

Согласно проведенным исследованиям Кондратовича К. В. [73] существует связь между интенсивностью и знаком индексов меридиональной и зональной циркуляции на разных широтах. Так, установлено, что при усилении отрицательной меридиональной циркуляции (северо-южный перенос) ослабевает зональная положительная (западно-восточный). Отсюда, адвекция холода, которая возникает при северных вторжениях, в значительной мере проникает на юг, что способствует возникновению неустойчивости атмосферы и, следовательно, опасных ее явлений. На исследуемой территории данную тенденцию удалось установить только для отдельных месяцев теплого периода (июнь, июль) (рис. 34).

В качестве дополнения к рассчитанным индексам А. Л. Каца используется классификация макросиноптических процессов Г. Я. Вангенгейма—А. А. Гирса, позволяющая анализировать атмосферные процессы в их непрерывном развитии с разделением на реальные стадии и установлением закономерностей их смены. Согласно этой классификации случаям опасных явлений в наибольшей мере способствует восточная (*E*) форма атмосферной циркуляции. В то же время, в последние годы XX в. заметна тенденция к увеличению повторяемости форм меридиональной циркуляции (*C*) (табл. 8).

При восточной *E*-форме наблюдались такие опасные явления, как атмосферная засуха, гололед, изморозь, пыльные бури, сильные дожди. *C*-форма способствовала появлению аномалий температуры, града, метелей, сильных ветров, смерчей. Шквалы, гололед и изморозь возникали, наконец, при форме *W*.

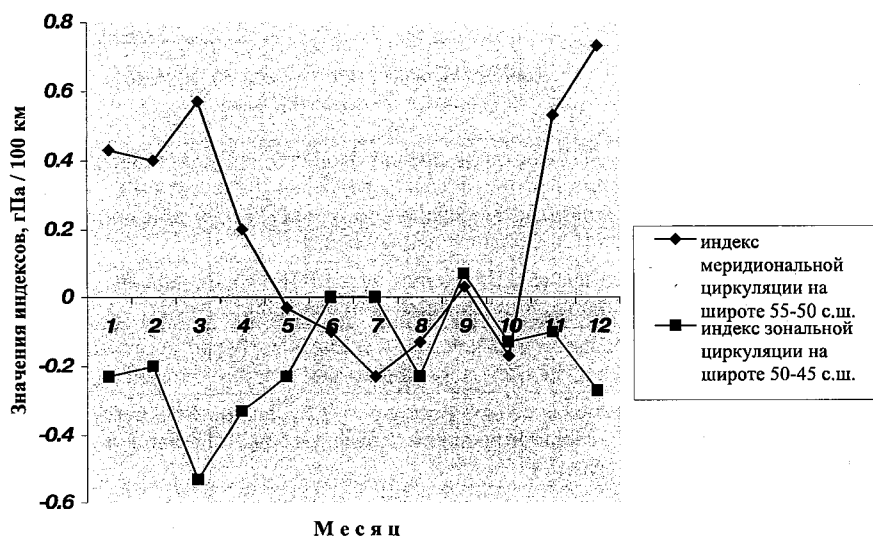


Рис. 34. Соотношение индексов циркуляции на широтах 55–50° и 50–45° с.ш.

Таблица 8

**Элементарные синоптические процессы при опасных явлениях погоды юга России (1950–2000 гг.)**

| № | Опасное явление погоды      | Элементарный синоптический процесс по Г. Я. Вангенгейму                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---|-----------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Аномалии температуры: жара  | Английская южноскандинавская (C), Карская (E), Пояс высокого давления (E), Канинская (E), Стационарная третье положение (C)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 2 | Аномалии температуры: мороз | Меридиональная первая б (E), Стационарная третье положение (W), Лапландская вторая а (C), Стационарная второе положение (W)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| 3 | Атмосферная засуха          | Стационарная пятое положение (E), Канинская (E), Карская стадия б (E), Меридиональная первая (E), Пояс высокого давления (E), Стационарная пятое положение (E), Карская северо-восточная первая а и б (E), Стационарная пятое положение (E), Стационарная второе положение (W), Канинская (W), Стационарная пятое положение (E), Стационарная пятое положение (E), Гренландская (W), Лапландская вторая (C), Среднескандинавская (C), Двинская северо-восточная |

## Продолжение таблицы 8

| №  | Опасное явление погоды | Элементарный синоптический процесс по Г. Я. Вангенгейму                                                                                                                                                                                                                                                   |
|----|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    |                        | (Е), Южноскандинавская вторая (С), Скандинавская северо-восточная (Е), Североскандинавская (W), Скандинавская северо-восточная (Е), Среднескандинавская (С), Среднескандинавская (С)                                                                                                                      |
| 4  | Гололед и изморозь     | Карская (Е), Восточная седловина (Е), Западный перенос (W), Английская первая (W)                                                                                                                                                                                                                         |
| 5  | Град                   | Среднескандинавская (С), Карская северо-восточная четвертая а (Е), Скандинавская северо-восточная (С)                                                                                                                                                                                                     |
| 6  | Метели                 | Двинская северо-восточная (Е), Лапландская первая а (С), Меридиональная первая а и б (Е), Лапландская первая (С)                                                                                                                                                                                          |
| 7  | Пыльные бури           | Восточная седловина (Е), Меридиональная первая аб (С), Лапландская первая (С), Меридиональная первая б (Е), Восточная седловина (Е), Карская (Е), Восточная первая (Е), Карская стадия а (Е), Гренландская (Е), Пояс высокого давления (Е), Пояс высокого давления (Е), Стационарная шестое положение (Е) |
| 8  | Сильные ветры          | Северо-западная седловина (С), Западный перенос (W), Лапландская первая (С)                                                                                                                                                                                                                               |
| 9  | Сильные дожди          | Английская южноскандинавская первая (W), Карская (Е), Канинская (Е), Лапландская первая (С), Среднескандинавская (С)                                                                                                                                                                                      |
| 10 | Смерчи                 | Североскандинавская б (С), Канинская (Е), Среднескандинавская северо-восточная (С)                                                                                                                                                                                                                        |
| 11 | Шквалы                 | Движущийся антициклон (W), Английская первая (W), Английская южноскандинавская (С)                                                                                                                                                                                                                        |

### 6.3. Тенденции изменения интенсивности циркуляции во временном отношении

На основании многолетних данных атмосферного давления (1873–1988г.) были рассчитаны такие параметры, как повторяемость (%) и интенсивность (гПа/100 км<sup>2</sup>) циклонов и антициклонов (в данном исследовании они приводятся для 60–30° с.ш. и 30–50° в.д.).

Таблица 9

**Повторяемость и интенсивность циклонов и антициклонов  
по многолетним данным (1873–1988 г.) (60–30° с.ш. и 30–50° в.д.)**

|       | I    | II   | III  | IV   | V    | VI   | VII  | VIII | IX   | X    | XI   | XII  |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $A_z$ | 2,3  | 2,2  | 2,0  | 1,7  | 1,7  | 1,9  | 2,1  | 2,1  | 2,2  | 2,2  | 2,1  | 2,6  |
|       | 64,9 | 65,8 | 63,2 | 57,7 | 54,1 | 59,9 | 61,2 | 71,9 | 74,2 | 73,5 | 72,2 | 65,4 |
| $Z$   | 2,0  | 2,1  | 1,9  | 1,3  | 1,5  | 1,6  | 1,6  | 1,4  | 1,5  | 1,3  | 2,0  | 2,4  |
|       | 31,0 | 33,9 | 36,0 | 41,2 | 44,6 | 39,6 | 38,3 | 27,4 | 24,8 | 26,2 | 27,3 | 34,1 |

Таблица 10

**Повторяемость и интенсивность циклонов  
и антициклонов для отдельных случаев опасных явлений  
(1950–2000 гг.) (60–40° с.ш. и 30–50° в.д.)**

| Опасное явление<br>погоды | Интенсивность<br>циклона,<br>гПа/100 км <sup>2</sup> | Повторяемость<br>циклона, % | Интенсивность<br>антициклона,<br>гПа/100 км <sup>2</sup> | Повторяемость<br>антициклона, % |
|---------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------|
| Метели                    | 0,21                                                 | 41                          | 0,26                                                     | 59                              |
| Пыльные бури              | 0,16                                                 | 24                          | 0,21                                                     | 76                              |
| Сильные ветры             | 0,19                                                 | 36                          | 0,19                                                     | 64                              |
| Сильные дожди             | 0,13                                                 | 51                          | 0,15                                                     | 49                              |
| Смерчи                    | 0,15                                                 | 34                          | 0,16                                                     | 67                              |
| Шквалы                    | 0,13                                                 | 37                          | 0,12                                                     | 63                              |
| Жара                      | 0,18                                                 | 45                          | 0,12                                                     | 55                              |
| Мороз                     | 0,21                                                 | 23                          | 0,25                                                     | 77                              |
| Атм. засуха               | 0,12                                                 | 13                          | 0,22                                                     | 87                              |
| Гололед и изморозь        | 0,30                                                 | 29                          | 0,30                                                     | 71                              |
| Град                      | 0,12                                                 | 38                          | 0,19                                                     | 62                              |

Согласно данным таблицы 9, в среднем в данном районе преобладают антициклоны по повторяемости и по интенсивности.

То есть, в многолетнем отношении данный район отличается преобладанием антициклональной циркуляции и по повторяемости,

и по интенсивности, которая активизируется в холодную половину года, что, очевидно, создает определенные тенденции для возникновения на этом фоне ОЯ.

Анализ рассчитанных значений повторяемости и интенсивности циклонов и антициклонов для отдельных дат опасных явлений погоды позволил также установить тенденцию определяющей роли антициклонов для возникновения ОЯ на юге ЕТР (табл. 10).

Т. о., можно констатировать, что антициклональный в средне-ноголетнем отношении фон изобарической поверхности 1000 гПа на юге ЕТР создает благоприятные условия для генезиса опасных явлений погоды. Циклоны, в свою очередь, чаще перемещаясь с запада или северо-запада, вызывают обострения градиентов давления и температуры, что также способствует формированию неустойчивости атмосферы и возникновению ОЯ.

## 7. Особенности хронологических рядов опасных явлений юга России

### 7.1. Статистические закономерности рядов и обзор исходной информации

Общая среднегодовая частота опасных явлений погоды за 30-летие на равнинах юга ЕТР имеет тенденцию к уменьшению значений от 13,2 (1965 г.) до 2,7 случаев (1995г.) (табл. 11).

Таблица 11

**Обобщенная среднегодовая частота случаев опасных явлений погоды  
за 1965–1995 гг.**

| Год  | Среднегодовая частота случаев |                 |               |                |         |       |          |          |            |
|------|-------------------------------|-----------------|---------------|----------------|---------|-------|----------|----------|------------|
|      | Сильных ветров                | Метелей низовых | Метелей общих | Сильных дождей | Шквалов | Града | Гололеда | Изморози | Обобщенная |
| 1965 | 23,1                          | 11,6            | 20,2          | 0,5            | 0       | 25,5  | 11,8     | 13,1     | 13,2       |
| 1966 | 18,5                          | 7,7             | 11,3          | 1              | 2,0     | 0,5   | 20,5     | 5,5      | 8,4        |
| 1967 | 16,3                          | 16,2            | 20,2          | 1              | 1,3     | 0,2   | 14,5     | 14,5     | 10,5       |
| 1968 | 6,2                           | 5,9             | 6,7           | 6,1            | 0,0     | 0     | 3,9      | 3,9      | 4,1        |

Продолжение таблицы 11

| Год     | Среднегодовая частота случаев |                 |               |                |         |       |          |          |            |
|---------|-------------------------------|-----------------|---------------|----------------|---------|-------|----------|----------|------------|
|         | Сильных ветров                | Метелей низовых | Метелей общих | Сильных дождей | Шквалов | Града | Гололеда | Изморози | Обобщенная |
| 1970    | 22,2                          | 7,0             | 11            | 0,5            | 0       | 0,3   | 13,8     | 5,7      | 7,6        |
| 1971    | 19,8                          | 10,9            | 19,8          | 0,7            | 0       | 0,3   | 10,4     | 10,1     | 9,0        |
| 1972    | 16,2                          | 9,3             | 10,4          | 0,6            | 0       | 0,2   | 6,5      | 13,9     | 7,1        |
| 1973    | 16,6                          | 8,2             | 10,4          | 1,4            | 0       | 1,0   | 9,2      | 10       | 7,1        |
| 1974    | 8,9                           | 2,5             | 2,8           | 0,9            | 0       | 1,0   | 10       | 11,8     | 4,7        |
| 1975    | 16                            | 5,5             | 10,2          | 0,4            | 0       | 0,1   | 8,1      | 13,4     | 6,7        |
| 1976    | 12,1                          | 10,2            | 12            | 0,8            | 0       | 0,9   | 13,0     | 16,5     | 8,2        |
| 1977    | 11,8                          | 7,9             | 7,1           | 1,3            | 0       | 0,9   | 7,9      | 15,5     | 6,5        |
| 1978    | 19,5                          | 9,8             | 9,7           | 0,8            | 0       | 0,6   | 9,0      | 11,2     | 7,6        |
| 1979    | 10,1                          | 2,8             | 0,0           | 0,7            | 0,7     | 0     | 13,7     | 9,5      | 4,7        |
| 1980    | 7,9                           | 3,7             | 0             | 0,9            | 0,5     | 0     | 9,3      | 13,5     | 4,5        |
| 1981    | 4,7                           | 1               | 0             | 1              | 0,7     | 0,3   | 11,6     | 3,9      | 2,9        |
| 1982    | 1,6                           | 1,5             | 0             | 0,6            | 0,5     | 0,3   | 7,6      | 18,0     | 3,8        |
| 1983    | 6,1                           | 1,2             | 0             | 0,5            | 0,9     | 0,3   | 5,1      | 9,5      | 2,9        |
| 1984    | 7,8                           | 0,7             | 0             | 0,6            | 1,1     | 0,3   | 5,3      | 4,8      | 2,6        |
| 1985    | 2,6                           | 3,9             | 0,3           | 0,7            | 0,6     | 0,6   | 11,8     | 17,6     | 4,8        |
| 1986    | 7,4                           | 2,2             | 6,3           | 0,3            | 0,8     | 0     | 10,1     | 10,8     | 4,7        |
| 1987    | 4,6                           | 6,7             | 8,4           | 0,5            | 0,6     | 0     | 14,9     | 18,4     | 6,7        |
| 1988    | 1,7                           | 1,7             | 4,1           | 0,6            | 0,1     | 0,1   | 11,5     | 17,4     | 4,7        |
| 1989    | 2,1                           | 3,8             | 6,0           | 0,8            | 0,7     | 0     | 6,1      | 4,8      | 3,0        |
| 1990    | 4                             | 0,8             | 1,0           | 0,7            | 0,4     | 0     | 6,3      | 6,1      | 2,4        |
| 1991    | 2,8                           | 1,6             | 2,1           | 0,5            | 0,5     | 0,1   | 7,7      | 12,5     | 3,4        |
| 1992    | 4,0                           | 1,7             | 1,9           | 0,5            | 0,2     | 0,4   | 6,5      | 12,1     | 3,4        |
| 1993    | 2,5                           | 1,4             | 1,9           | 0,7            | 0,2     | 0,7   | 7,0      | 13,0     | 3,4        |
| 1994    | 0,6                           | 0,9             | 1,8           | 0,4            | 0,5     | 0,5   | 7,0      | 2        | 1,7        |
| 1995    | 4,4                           | 1,9             | 2,8           | 0,5            | 0,5     | 0,1   | 7        | 4,4      | 2,7        |
| Среднее | 10,8                          | 5,6             | 6,6           | 0,9            | 0,4     | 1,1   | 9,6      | 10,6     | 5,7        |

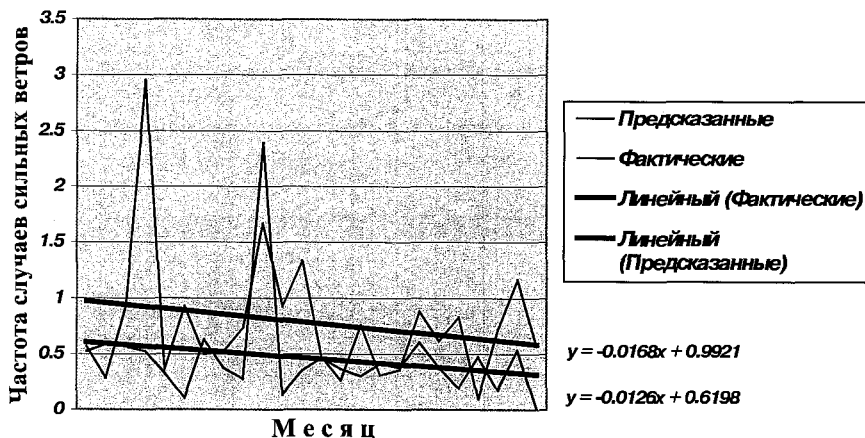


Рис. 35. Частота случаев сильных ветров на юге ЕТР, 1950–2001 гг.

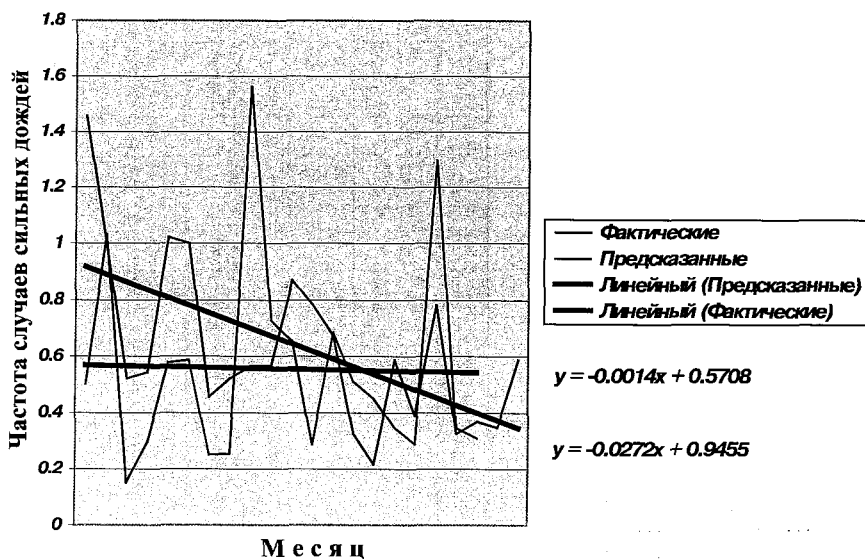


Рис. 36. Частота случаев сильных дождей.

С учетом дискретности отдельных опасных явлений погоды (шквалы, град) применялись столбчатые диаграммы для графического изображения. Для сильных ветров, метелей, гололеда и изморози, сильных дождей и ливней, с ежегодной частотой случаев, были построены непрерывные кривые (рис. 35 и 36).

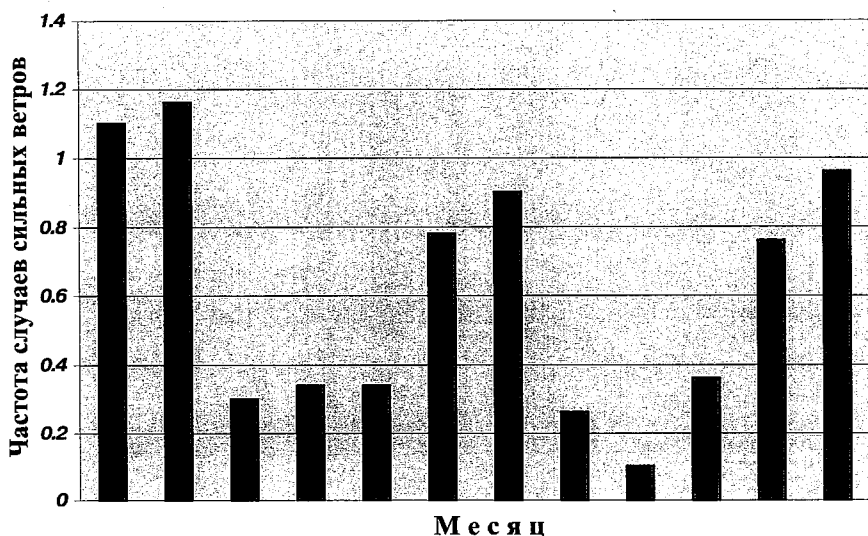


Рис. 37. Внутригодовой ход частоты случаев сильных ветров.

Выявлены годы с максимальным количеством ОЯ: 1965, 1967, 1969, 1971, 1976, 1978, 1982, 1987, 1991–1993, 1995 гг., с минимальными — 1967, 1968, 1970, 1972, 1974, 1975, 1976, 1979, 1981, 1983, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1992, 1994 гг. Средняя продолжительность максимальных периодов составила 3 года, минимальных — 2 года.

Наибольшие значения частот случаев явлений за 30-летие были зарегистрированы в январе — 12,1, феврале — 8,8 и декабре — 7,9, наименьшие — в апреле, августе и октябре (1,3, 1,5 и 0,9 соответственно). Средняя величина составила 3,9 случаев. Таким образом, наиболее неблагоприятными с позиции возможности возникновения опасных явлений погоды в пределах равнин юга ЕТР являются зимние месяцы (рис. 37, табл. 12).

Наибольшая среднемесячная частота случаев ОЯ наблюдалась на ст. Новоаннинский (4,2), Нижний Чир (3,5), Малые Дербеты (3,6), средняя величина составила 2,3 (табл. 13). Максимальная среднегодовое количество явлений зарегистрировано на ст. Заветное (8,9) Морозовск (8,7), Новоаннинский (8,5), среднее значение составило 5,7.

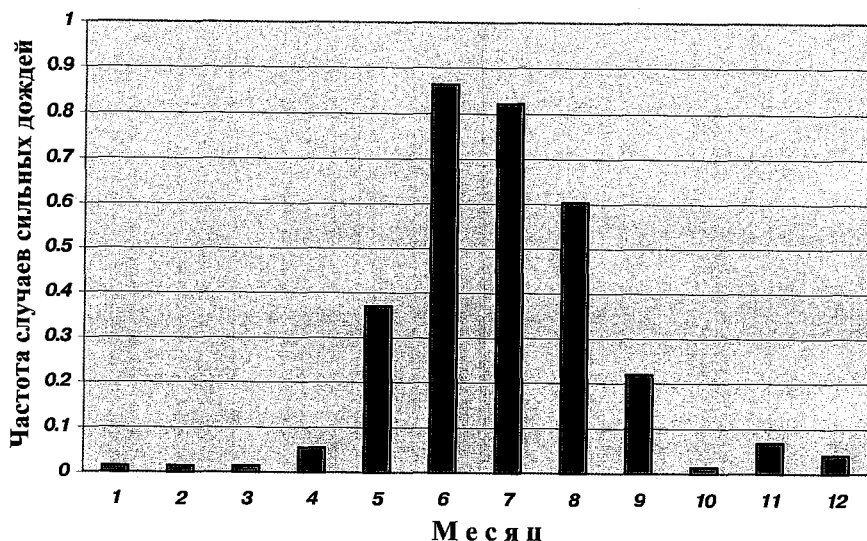


Рис. 38. Внутригодовой ход частоты случаев сильных дождей.

Таблица 12

Годовой ход частоты случаев опасных явлений погоды

| Месяц    | Среднемесячная частота случаев аномалий |         |                |         |       |          |          |       |
|----------|-----------------------------------------|---------|----------------|---------|-------|----------|----------|-------|
|          | Сильных ветров                          | Метелей | Сильных дождей | Шквалов | Града | Гололеда | Изморози | Общая |
| Январь   | 1,9                                     | 35,8    | 0,2            | 0,1     | 0,8   | 23,3     | 22,5     | 12,0  |
| Февраль  | 1,7                                     | 25      | 0,1            | 0,2     | 0     | 17,1     | 17,1     | 8,7   |
| Март     | 4,5                                     | 8,9     | 1,3            | 0,2     | 1,6   | 7,7      | 7,4      | 4,5   |
| Апрель   | 1,6                                     | 0,3     | 5,4            | 0,1     | 1,1   | 0        | 0,1      | 1,2   |
| Май      | 1,9                                     | 0       | 8,0            | 0,8     | 2,0   | 0        | 0        | 1,8   |
| Июнь     | 0,2                                     | 0       | 9,4            | 1,3     | 2,6   | 0        | 0        | 1,9   |
| Июль     | 0,2                                     | 0       | 10,2           | 0,3     | 1,3   | 0        | 0        | 1,7   |
| Август   | 0,3                                     | 0       | 8,4            | 1,4     | 0,5   | 0        | 0        | 1,5   |
| Сентябрь | 0,5                                     | 0       | 7,9            | 1,1     | 2     | 0        | 0        | 1,6   |
| Октябрь  | 1                                       | 0       | 3,3            | 0       | 2,0   | 0,3      | 0        | 0,9   |
| Ноябрь   | 0,7                                     | 1,0     | 2,7            | 0,1     | 0,2   | 10,2     | 4,4      | 2,8   |
| Декабрь  | 1,0                                     | 19,8    | 1,5            | 0       | 0,7   | 9,3      | 23,3     | 7,9   |
| Среднее  | 1,3                                     | 7,5     | 4,9            | 0,4     | 1,2   | 5,6      | 6,2      | 3,9   |

Таблица 13

**Распределение среднемесячной частота случаев  
опасных явлений погоды по станциям**

| Станция           | Среднемесячная частота случаев |         |                |         |       |          |          |       |
|-------------------|--------------------------------|---------|----------------|---------|-------|----------|----------|-------|
|                   | Сильных ветров                 | Метелей | Сильных дождей | Шквалов | Града | Гололеда | Изморози | Общая |
| 1. Тимашевск      | 0,3                            | 1,8     | 2,7            | 0,1     | 0,3   | 2,4      | 1,8      | 1,3   |
| 2. Сосыка         | 0,5                            | 6,      | 2,4            | 0,1     | 0,3   | 1,1      | 1,7      | 1,7   |
| 3.Новоаннинский   | 9,0                            | 14,1    | 1,9            | 1,4     | 0,1   | 1,3      | 1,6      | 4,2   |
| 4. Вешенская      | 1,3                            | 6,2     | 1,4            | 0,1     | 0,1   | 2,0      | 1,6      | 1,8   |
| 5. Белая Глина    | 0,6                            | 2,7     | 2,2            | 0,5     | 0,1   | 0,8      | 2,5      | 1,3   |
| 6. Каневская      | 0                              | 1       | 2,5            | 0       | 1,9   | 1,2      | 1,3      | 1,1   |
| 7. Ольховка       | 0,4                            | 6,4     | 1,7            | 0,4     | 0,2   | 1,4      | 2,3      | 1,8   |
| 8. Обливская      | 0,2                            | 3,5     | 1,8            | 1,7     | 0,3   | 1,8      | 2,2      | 1,6   |
| 9. Морозовск      | 1,2                            | 11,3    | 1,6            | 0,6     | 0,5   | 2,6      | 4,1      | 3,1   |
| 10. Зимовники     | 0,9                            | 9,2     | 1,6            | 0,1     | 0,4   | 1,7      | 2,2      | 2,3   |
| 11. Пролетарск    | 0,9                            | 4,7     | 2,6            | 0,2     | 0,6   | 2,3      | 1,5      | 1,8   |
| 12. Нижний Чир    | 4,5                            | 11,7    | 1,9            | 0       | 1,0   | 2,5      | 2,7      | 3,5   |
| 13. Веселый       | 2,7                            | 4,08    | 2,3            | 0,5     | 0,8   | 1,5      | 1,3      | 1,9   |
| 14. Палласовка    | 0,1                            | 11,4    | 1,5            | 0,1     | 0,3   | 1,0      | 2,8      | 2,4   |
| 15. Эльтон        | 0,5                            | 12,1    | 1,2            | 0,1     | 0,1   | 4,2      | 4        | 3,2   |
| 16.Малые Дербеты  | 2,9                            | 9,2     | 1,9            | 4,0     | 0,4   | 3,6      | 3,1      | 3,6   |
| 17. Заветное      | 0,8                            | 14,7    | 1,4            | 0       | 0,8   | 3,1      | 2,7      | 3,3   |
| 18. Арзгир        | 0,3                            | 9,5     | 2,6            | 0       | 0,1   | 2,3      | 2,2      | 2,4   |
| 19. Черный Яр     | 0,4                            | 8,2     | 1,1            | 0       | 1,7   | 3        | 3,1      | 2,5   |
| 20. Юста          | 0,3                            | 8,4     | 1,3            | 0,1     | 0     | 2,3      | 2,6      | 2,1   |
| 21. Яшкуль        | 0,4                            | 7,0     | 1,7            | 0       | 0,1   | 3,8      | 3,1      | 2,3   |
| 22. Комсомольский | 0,3                            | 2,5     | 1,5            | 0       | 0     | 1,3      | 2,1      | 1,1   |
| Среднее           | 1,3                            | 7,5     | 1,8            | 0,4     | 0,4   | 2,1      | 2,4      | 2,3   |

С точки зрения доли (%) конкретного ОЯ в общем количестве явлений наиболее существенными оказались общие и низовые метели (январь, февраль), изморозь (декабрь).

Из общего числа рассмотренных ОЯ, наибольшее среднемесячное (за холодный период года) зафиксировано для общих и низовых метелей — 7,6, наименьшее (за теплый период) — для шквалов (0,5) (табл. 14). Для годовых величин ОЯ необходимо отметить преобладание частот сильных ветров — 10,9 случаев.

Таблица 14

**Среднегодовая и среднемесячная частота случаев  
опасных явлений погоды**

| Явление          | Частота случаев ОЯ  |                    |
|------------------|---------------------|--------------------|
|                  | среднемесячная, сл. | среднегодовая, сл. |
| 1. Сильные ветры | 1,3                 | 10,8               |
| 2. Метели:       | 7,5                 |                    |
| низовые          |                     | 5,2                |
| общие            |                     | 6,7                |
| 3. Сильные дожди | 4,9                 | 0,9                |
| 4. Шквалы        | 0,4                 | 0,4                |
| 5. Град          | 1,2                 | 0,3                |
| 6. Гололед       | 5,6                 | 9,6                |
| 7. Изморозь      | 6,2                 | 10,6               |
| Среднее          | 3,9                 | 5,6                |

Таблица 15

**Значения коэффициента корреляции между среднегодовой частотой  
опасных явлений погоды и отдельными географическими  
параметрами**

| Параметры                        | Значение коэффициента<br>корреляции для среднегодовой<br>частоты опасных явлений погоды |
|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Географическая широта станции | 0,5                                                                                     |
| 2. Географическая долгота        | 0,2                                                                                     |
| 3. Высота станции                | 0,4                                                                                     |

Продолжение таблицы 15

| Параметры                                              | Значение коэффициента корреляции для среднегодовой частоты опасных явлений погоды |
|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 4. Расстояние до Азовского моря                        | 0,3                                                                               |
| 5. Расстояние до Каспийского моря                      | 0,2                                                                               |
| 6. Расстояние до Черного моря                          | 0,5                                                                               |
| 7. Численность населения                               | -0,2                                                                              |
| 8. Индекс сухости                                      | 0,1                                                                               |
| 9. Средняя температура января                          | -0,5                                                                              |
| 10. Средняя температура июля                           | -0,04                                                                             |
| 11. Среднее годовое кол-во осадков                     | -0,1                                                                              |
| 12. Годовая амплитуда температур                       | 0,5                                                                               |
| 13. Средняя высота снежного покрова                    | 0,1                                                                               |
| 14. Испаряемость                                       | 0,3                                                                               |
| 15. Разность между количеством осадков и испаряемостью | -0,2                                                                              |
| 16. Коэффициент континентальности                      | 0,4                                                                               |
| 17. Числа Вольфа                                       | -0,3                                                                              |
| 18. Индекс магнитной возмущенности                     | -0,6                                                                              |
| 19. Интенсивность ПВФЗ                                 | 0,2                                                                               |
| Стандартная ошибка вычислений                          | $\pm 0,002$                                                                       |

На уровне значимости оказались коэффициенты корреляции между общей частотой ОЯ и географической широтой (0,5), расстоянием до Черного моря (0,5), годовой амплитудой температур (0,5), средней температурой января (-0,5), индексом магнитной возмущенности (-0,6) (табл. 15).

## 7.2. Критерии Аббе и определение случайности колебаний

Значения автокорреляционных функций рассчитывались по следующей формуле:

$$r(\tau) = 1/l\sigma(\tau) \sum_{i=1}^l x_i(\tau) - m_x(\tau), \quad (46)$$

где  $r(\tau)$  — автокорреляционная функция;  $\sigma$  — среднее квадратическое отклонение величины  $x$ ;  $m$  — математическое ожидание величины  $x$ ;  $x_i$  — повторяемость  $i$ -го опасного явления погоды;  $\tau$  — временной промежуток;  $l$  — длина реализации.

При длине реализации 51 год (1950–2000 гг.) временной промежуток  $\tau$ , на котором удалось зафиксировать квазиэкспоненциальность, составляет 15 лет. Т. е., возможно осуществлять долговременный прогноз ОЯ по последним значениям частот на каждые 15 лет, при этом во внимание принимают годовые значения повторяемостей. Очевидно, что этот прогноз  $\text{ар}10\text{г}1$  будет иметь значительную погрешность. Но, для определенных исследований может быть использован, тем не менее, как вспомогательный.

При наличии ежедневных данных, длина реализации  $l = 365$  дней (случайным образом был выбран один год за исследуемое 50-летие), временной промежуток с подобием цепи Маркова удалось выявить на промежутке  $\tau = 7$  дней. Отсюда, краткосрочное прогнозирование опасных явлений погоды, исходя из констатации инерционности последнего значения их частоты, можно осуществлять на срок не менее 7 дней. Что, очевидно, является подтверждением определяющей роли циркуляции атмосферы в генезисе опасных явлений погоды.

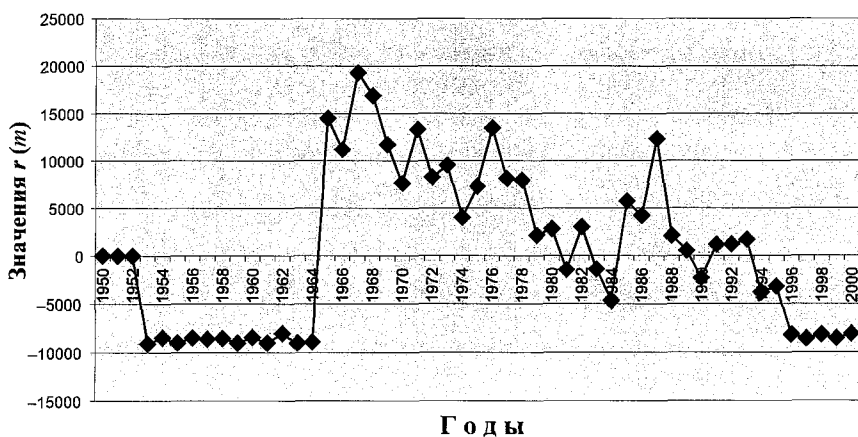


Рис. 39. Автокорреляционные функции для частот случаев опасных явлений погоды на юге России (1950–2000 гг.)

Рассмотрение графиков данных функций позволило утверждать, что ярко выраженной цельной экспоненциальности не наблюдается, однако на отдельных участках ее можно обнаружить (рис. 39).

Согласно приведенным алгоритмам было проведено последовательное вычисление коэффициентов корреляции для двух несмежных членов ряда с построением автокорреляционных функций, также были определены критерии Аббе (табл. 16).

В результате расчетов были получены следующие значения:

- для *общих и низовых метелей*:  $M_{s1} = 19,5$ ;  $\sigma_{s1} \sim 6,69$ ;  $t_{s1} = 3,1$ ;  $t_{\beta 1} = 0,09$ . При этом  $3,1 \leq 0,91$  — неверно, значит по первому критерию ряд не случаен.  $M_{s2} = 13,7$ ;  $\sigma_{s2} = 1,85$ ;  $t_{s2} \sim 14,5$ ;  $t_2 = 0,09$ . Не-

Таблица 16

**Значения коэффициентов корреляции для двух несмежных элементов статистических рядов ОЯ**

| Сильные ветры | Метели общие | Метели низовые | Сильные дожди | Шквалы | Град  | Гололед | Изморозь |
|---------------|--------------|----------------|---------------|--------|-------|---------|----------|
| 0,33          | 0,31         | 0,53           | 0,35          | 0,00   | 0,11  | -0,04   | 0,39     |
| 0,79          | 0,75         | 0,74           | 0,75          | -0,11  | 0,00  | 0,05    | 0,67     |
| -0,11         | 0,39         | 0,38           | 0,27          | 0,00   | 0,09  | 0,44    | -0,07    |
| 0,23          | 0,84         | 0,75           | 0,22          | 0,00   | 0,00  | 0,38    | 0,23     |
| 0,43          | 0,49         | 0,36           | -0,30         | 0,00   | 0,05  | 0,05    | 0,71     |
| 0,10          | 0,59         | 0,34           | 0,31          | 0,00   | 0,00  | 0,33    | 0,03     |
| 0,51          | 0,23         | 0,89           | -0,07         | 0,00   | 0,47  | 0,69    | 0,19     |
| 0,42          | 0,73         | 0,64           | 0,36          | 0,00   | 0,21  | 0,42    | 0,74     |
| 0,43          | 0,83         | 0,73           | 0,42          | 0,00   | -0,17 | 0,27    | 0,31     |
| 0,51          | 0,66         | 0,55           | 0,52          | 0,00   | -0,09 | 0,74    | 0,70     |
| 0,51          | 0,82         | 0,68           | 0,06          | 0,00   | 0,04  | 0,31    | 0,44     |
| 0,46          | 0,83         | 0,68           | -0,03         | 0,00   | 0,00  | 0,45    | 0,64     |
| 0,53          | 0,24         | 0,21           | -0,18         | 0,00   | 0,00  | 0,73    | 0,40     |
| 0,54          | 0,00         | 0,25           | 0,44          | 0,00   | 0,00  | 0,22    | 0,43     |
| 0,41          | 0,00         | 0,65           | 0,26          | 0,88   | 0,00  | 0,74    | 0,30     |
| 0,28          | 0,00         | 0,79           | 0,23          | 0,78   | 0,51  | 0,51    | 0,59     |
| 0,57          | 0,00         | 0,81           | 0,17          | 0,72   | 0,13  | 0,59    | 0,06     |
| 0,04          | 0,00         | 0,83           | 0,42          | 0,88   | 0,28  | 0,77    | 0,58     |

равенство  $14,5 \leq 0,91$  не соблюдается, значит по второму критерию ряд не случаен.  $M_{s3} = 10,0$ ;  $\sigma_{s3} = 1,35$ ;  $t_{s3+} = -0,37$ ;  $t_{s3-} = -1,85$ ;  $t_{\beta3} = 0,09$ . Неравенства  $-0,37 \leq 0,91$  и  $-1,85 \leq 0,91$  соблюдаются, то есть ряд по третьему критерию случаен.

- для *изморози*:  $M_{s1} \sim 18,0$ ;  $\sigma_{s1} \sim 6,59$ ;  $t_{s1} \sim 3,72$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $3,72 \leq 0,91$  — неверно, ряд не случаен.  $M_{s2} = 13,7$ ;  $\sigma_{s2} \sim 1,85$ ;  $t_{s2} \sim 15,6$ ;  $t_2 = 0,09$ .  $15,6 \leq 0,91$ , значит ряд не случаен.  $M_{s3} = 10,0$ ;  $\sigma_{s3} \sim 1,35$ ;  $t_{s3+} \sim 1,1$ ;  $t_{s3-} \sim -3,3$ ;  $t_{\beta3} = 0,09$ .  $-1,1 \leq 0,91$ ; ряд не случаен;  $-3,3 \leq 0,91$ , ряд случаен.
- для *града*:  $M_{s1} = 19,1$ ;  $\sigma_{s1} = 6,7$ ;  $t_{s1} = 3,2$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $3,2 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 13,7$ ;  $\sigma_{s2} = 1,85$ ;  $t_{s2} = 14,5$ ;  $t_2 = 0,09$ .  $14,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 10,0$ ;  $\sigma_{s3} = 1,35$ ;  $t_{s3+} = 3,3$ ;  $t_{s3-} = -4,8$ ;  $t_{\beta3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta3-} = 0,09$ ; для  $3,3 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-4,8 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *гололеда*:  $M_{s1} \sim 20,3$ ;  $\sigma_{s1} \sim 6,71$ ;  $t_{s1} \sim 3,0$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $3,0 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} \sim 13,7$ ;  $\sigma_{s2} \sim 1,85$ ;  $t_{s2} \sim 14,5$ ;  $t_{\beta2} = 0,09$ .  $14,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 10,0$ ;  $\sigma_{s3} \sim 1,35$ ;  $t_{s3+} = 1,85$ ;  $t_{s3-} \sim -4,1$ ;  $t_{\beta3} = 0,09$ ; для  $1,85 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-4,1 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *шквалов*:  $M_{s1} = 11,1$ ;  $\sigma_{s1} = 6,1$ ;  $t_{s1} \sim 5,3$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $5,3 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 15,0$ ;  $\sigma_{s2} = 1,9$ ;  $t_{s2} \sim 15,0$ ;  $t_{\beta2} = 0,09$ .  $15,0 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 11,0$ ;  $\sigma_{s3} = 1,4$ ;  $t_{s3+} = 6,1$ ;  $t_{s3-} = -6,8$ ;  $t_{\beta3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta3-} = 0,09$ ; для  $6,1 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-6,8 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *сильных ветров*:  $M_{s1} \sim 16,3$ ;  $\sigma_{s1} \sim 6,85$ ;  $t_{s1} = 4,1$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $4,1 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} \sim 15,7$ ;  $\sigma_{s2} \sim 1,99$ ;  $t_{s2} \sim 14,5$ ;  $t_{\beta2} = 0,09$ .  $14,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 11,5$ ;  $\sigma_{s3} \sim 3,5$ ;  $t_{s3+} = 2,57$ ;  $t_{s3-} \sim -3,14$ ;  $t_{\beta3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta3-} = 0,09$ ; для  $2,57 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-3,14 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *сильных дождей*:  $M_{s1} = 16,7$ ;  $\sigma_{s1} = 6,57$ ;  $t_{s1} = 3,77$ ;  $t_{\beta1} = 0,09$ .  $3,77 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 13,7$ ;  $\sigma_{s2} = 1,85$ ;  $t_{s2} = 15,03$ ;  $t_{\beta2} = 0,09$ .  $-15,03 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 10,0$ ;  $\sigma_{s3} = 1,35$ ;  $t_{s3+} = -1,1$ ;  $t_{s3-} = 0,37$ ;  $t_{\beta3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta3-} = 0,09$ ; для  $-1,1 \leq 0,91$  — случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $0,37 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).

- для *смерчей*:  $M_{s1} = 7,12$ ;  $\sigma_{s1} = 5,3$ ;  $t_{s1} = 4,79$ ;  $t_{\beta 1} = 0,09$ .  $4,79 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 11,0$ ;  $\sigma_{s2} = 1,6$ ;  $t_{s2} = 13,4$ ;  $t_{\beta 2} = 0,09$ .  $13,4 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 8,0$ ;  $\sigma_{s3} = 1,2$ ;  $t_{s3+} = 2,9$ ;  $t_{s3-} = -4,58$ ;  $t_{\beta 3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta -} = 0,09$ ; для  $2,9 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-4,58 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для аномалий температуры (высокие температуры):  $M_{s1} = 4,3$ ;  $\sigma_{s1} = 3,99$ ;  $t_{s1} = 2,56$ ;  $t_{\beta 1} = 0,21$ .  $2,56 \leq 0,79$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 5,7$ ;  $\sigma_{s2} = 1,13$ ;  $t_{s2} = 7,79$ ;  $t_{\beta 2} = 0,7$ .  $7,79 \leq 0,3$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 4,0$ ;  $\sigma_{s3} = 0,9$ ;  $t_{s3+} = 1,7$ ;  $t_{s3-} = -5,0$ ;  $t_{\beta 3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta -} = 0,09$ ; для  $1,7 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-5,0 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для аномалий температуры (низкие температуры):  $M_{s1} = 5,3$ ;  $\sigma_{s1} = 5,3$ ;  $t_{s1} = 1,2$ ;  $t_{\beta 1} = 0,09$ .  $1,2 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 4,3$ ;  $\sigma_{s2} = 0,96$ ;  $t_{s2} = 7,5$ ;  $t_{\beta 2} = 0,09$ .  $7,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 3,0$ ;  $\sigma_{s3} = 0,82$ ;  $t_{s3+} = 0,61$ ;  $t_{s3-} = -3,1$ ;  $t_{\beta 3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta -} = 0,09$ ; для  $0,61 \leq 0,91$  — случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-3,1 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *пыльных бурь*:  $M_{s1} = 5,0$ ;  $\sigma_{s1} = 3,8$ ;  $t_{s1} = 1,45$ ;  $t_{\beta 1} = 0,09$ .  $1,45 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 3,7$ ;  $\sigma_{s2} = 0,86$ ;  $t_{s2} = 7,91$ ;  $t_{\beta 2} = 0,09$ .  $7,91 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 2,5$ ;  $\sigma_{s3} = 0,76$ ;  $t_{s3+} = 1,3$ ;  $t_{s3-} = 0,00$ ;  $t_{\beta 3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta -} = 0,09$ ; для  $1,3 \leq 0,91$  — не случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $0,00 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).
- для *атмосферной засухи*:  $M_{s1} = 2,71$ ;  $\sigma_{s1} = 3,46$ ;  $t_{s1} = 2,5$ ;  $t_{\beta 1} = 0,09$ .  $2,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s2} = 4,3$ ;  $\sigma_{s2} = 0,96$ ;  $t_{s2} = 7,5$ ;  $t_{\beta 2} = 0,09$ .  $7,5 \leq 0,91$ , ряд не случаен.  $M_{s3} = 3,0$ ;  $\sigma_{s3} = 0,82$ ;  $t_{s3+} = -3,1$ ;  $t_{s3-} = 0,61$ ;  $t_{\beta 3+} = 0,09$ ;  $t_{\beta -} = 0,09$ ; для  $-3,1 \leq 0,91$  — случаен (для положительных отклонений от среднего); для  $-0,61 \leq 0,91$  — случаен (для отрицательных отклонений).

Проверка гипотезы о неслучайности колебаний внутри ряда ОЯ показала, что по первому и второму критериям все рассмотренные опасные явления не относятся к случайным, значит, некоторая взаимосвязь между элементами существует. Определенную зависимость для повторов серий положительных отклонений от среднего удалось обнаружить для большинства опасных явлений, а именно, в случаях града, шквалов, гололеда, изморози, сильных ветров, смерчей, аномалий температуры (высокие температуры) и пыльных бурь. На ос-

новании представленных результатов можно констатировать, что данные ОЯ могут иметь связность между элементами по типу *красного шума*.

Последнее предполагает возможность экстраполировать значения будущих их повторяемостей. Отсюда, по уравнениям линейной регрессии были подсчитаны прогнозируемые значения (на ближайшее 5-летие) для годовых частот данных явлений. А именно:

- для общих метелей предполагаемая частота не менее 6 случаев в год на ст. Сосыка, Веселый, Арзгир, Обливская, Зимовники, Пролетарск, Юста;
- для низовых метелей — не менее 6 случаев на ст. Зимовники, Пролетарск, Веселый;
- для сильных ветров — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Новоаннинская, Юста, Каневская, Обливская;
- для сильных дождей и ливней — не менее 1 случая на ст. Тимашевск, Сосыка, Белая Глина, Каневская, Зимовники, Пролетарск, Веселый, Морозовск, Арзгир, Палласовка, Эльтон;
- для шквалов — не менее 0,5 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Обливская, Зимовники, Нижний Чир, Веселый, Палласовка, Черный Яр, Эльтон, Малые Дербеты;
- для града не менее 0,4 случаев на ст. Каневская, Вешенская, Ольховка, Эльтон, Черный Яр, Юста, Комсомольский;
- для гололеда — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Вешенская, Белая Глина, Каневская, Ольховка, Морозовск, Зимовники, Веселый, Палласовка, Эльтон, Малые Дербеты, Арзгир, Черный Яр, Юста;
- для изморози — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Вешенская, Ольховка, Обливская, Морозовск, Веселый, Эльтон, Арзгир, Черный Яр, Юста, Яшкуль, Комсомольский.

Анализ графиков скользящего осреднения, с указанными линиями трендов, позволяет сделать следующие выводы:

- большее количество опасных явлений имеют тенденцию к убыванию значений частот, среди них наиболее существенно она проявляется для общих и низовых метелей, а также для сильных ветров;
- незначительное снижение предсказанных величин можно отметить для сильных ливней и дождей, града и гололеда;
- почти на том же уровне останутся для ближайших 5 лет количества шквалов и изморози.

### 7.3. Районирование равнин юга России по распределению повторяемостей опасных явлений погоды

Изучение пространственного распределения обобщенного числа случаев опасных явлений погоды, согласно построенной по методу интерполяции схемы, позволило выявить следующие закономерности:

- тенденция к повышению числа явлений наблюдается на востоке исследуемой территории, что подтверждает ведущую роль восточных потоков в возникновении опасных явлений погоды;
- в центре наблюдаются столкновения различных по физическим свойствам воздушных масс, которым способствуют особенности рельефа (возвышенности Ергени, Калачская), что также обуславливает значительные частоты ОЯ.

Таким образом, опасные явления погоды на равнинах юга ЕТР возникают при преобладающей роли циркуляции воздушных масс, барических систем, отдельных фронтов. Однако необходимо отметить благоприятствующее значение рельефа территории, создающего характерные «коридорные» условия (Кумо-Манычский ветровой коридор) для проникновения разнородных воздушных масс.

На основании построенной схемы распределения ОЯ на станциях равнин юга ЕТР было проведено районирование по числу случаев, в среднем за год (рис. 40). На первом этапе определялось среднегодовое количество данных явлений, разделенных на генетические группы: сильные ветры, метели (общие и низовые), конвективные и (сильные дожди и ливни, шквалы, град), гололедно-изморозевые явления. Таким образом были выделены три области: I — с пониженным числом ОЯ; II — со средним; III — с повышенным. На втором этапе в пределах каждой области были определены процентные вклады групп ОЯ. По этому признаку выделены районы (названия районов выбраны по названиям метеостанций): I — 1 — Вешенско-Яшкульский; I — 2 — Веселовско-Арзгирский; I — 3 — Комсомольский; II — 4 — Палласовско-Пролетарский; II — 5 — Зимовниковский; III — 6 — Новоаннинско-Заветнинский; III — 7 — Морозовский; III — 8 — Белоглинский; III — 9 — Черноярский; III — 10 — Эльтонский (табл. 17).

Таблица 17

**Районирование равнин юга Европейской территории России  
по среднемноголетней повторяемости опасных явлений погоды**

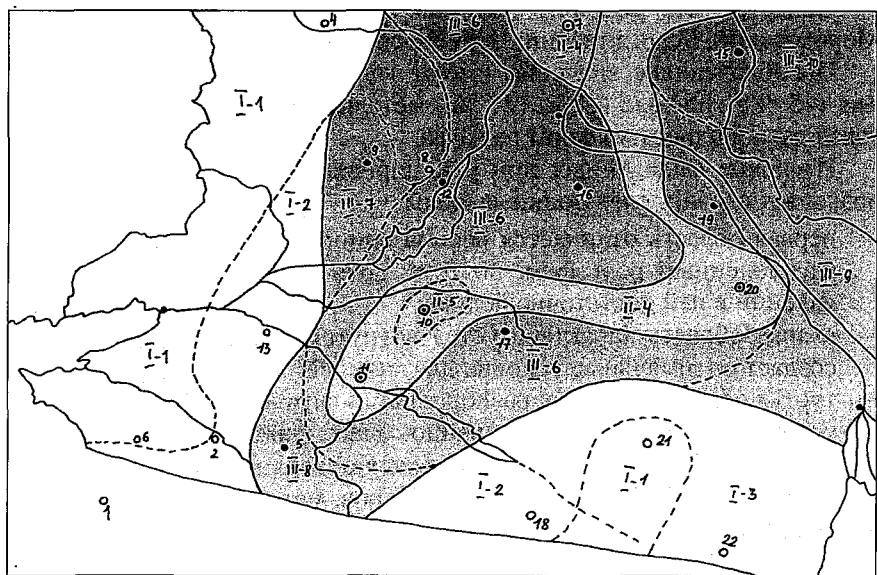
| Округ      | Район  | Доля опасных явлений погоды, в % от общего количества |        |                      |                               | Средняя частота сл./г | Средняя доля опасных явлений, % | Название округа          | Название района           |
|------------|--------|-------------------------------------------------------|--------|----------------------|-------------------------------|-----------------------|---------------------------------|--------------------------|---------------------------|
|            |        | Сильные ветры                                         | Метели | Конвективные явления | Гололедно-изморозевые явления |                       |                                 |                          |                           |
| I          |        | 23                                                    | 18     | 6                    | 53                            | 3,6                   | 28,6                            | с пониженной частотой ОЯ |                           |
|            | I-1    | 10                                                    | 30     | 7                    | 53                            | 3,6                   | 28,1                            |                          | Вешенско-Яшкульский       |
|            | I-2    | 24                                                    | 14     | 8                    | 54                            | 3,6                   | 29,1                            |                          | Веселовско-Арзгирский     |
|            | I-3    | 35                                                    | 11     | 3                    | 53                            | 3,6                   | 28,6                            |                          | Комсомольский             |
| II         |        | 22                                                    | 32     | 3                    | 43                            | 5,5                   | 44,9                            | со средней частотой      |                           |
|            | II-4   | 16                                                    | 35     | 3                    | 47                            | 5,4                   | 43,4                            |                          | Палласовско-Пролетарский  |
|            | II-5   | 29                                                    | 29     | 3                    | 39                            | 5,8                   | 46,5                            |                          | Зимовниковский            |
| III        |        | 27                                                    | 25     | 4                    | 45                            | 8,0                   | 62,4                            | с повышенной частотой    |                           |
|            | III-6  | 31                                                    | 28     | 5                    | 37                            | 8,2                   | 65,2                            |                          | Новоаннинско-Заветнинский |
|            | III-7  | 20                                                    | 28     | 4                    | 49                            | 8,7                   | 69,5                            |                          | Морозовский               |
|            | III-8  | 48                                                    | 16     | 5                    | 32                            | 7,3                   | 58,5                            |                          | Белоглинский              |
|            | III-9  | 26                                                    | 21     | 2                    | 52                            | 7,1                   | 56,8                            |                          | Черноярский               |
|            | III-10 | 10                                                    | 33     | 1                    | 56                            | 7,8                   | 62,2                            |                          | Эльтонский                |
| Об-<br>щее |        | 24                                                    | 25     | 4                    | 47                            | 5,7                   | 45,3                            |                          |                           |

*Первая область* (с пониженной частотой опасных явлений погоды) охватывает запад и юго-восток изучаемой территории. В физико-географическом отношении характеризуется возвышенным и в достаточной мере расчлененным рельефом. На севере области в пределах юго-восточной окраины Воронежской антеклизы Русской платформы, расположены Калачская возвышенность, Донская гряда и Донецко-Донская равнина.

Область включает три района: Вешенско-Яшкульский; Веселовско-Аргзирский; Комсомольский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления (53 %), что, очевидно, в связи с большой расчлененностью рельефа. Кроме того, по сравнению с остальными областями увеличена доля конвективных явлений, что обусловлено развивающейся летней термической конвекцией.

*Вторая область* (со средней частотой опасных явлений погоды) расположена в центре изучаемой территории. В физико-географическом отношении характеризуется низменным, скорее вогнутым рельефом. В ее пределах расположены южная окраина Окско-Дон-



**Рис. 40.** Районирование равнин юга Европейской территории России по среднееголетней повторяемости опасных явлений погоды.

ской равнины, Нижнедонская и Манычская низменности и равнины Низкого Заволжья.

Область включает два района: Палласовско-Пролетарский; Зимовниковский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления (43 %) и метели (32 %), что, очевидно, в связи вогнутой формой рельефа.

*Третья область* (с повышенной частотой опасных явлений погоды) расположена между первой и второй областями. В физико-географическом отношении характеризуется разнообразными формами рельефом. Она включает южную часть Приволжской возвышенности, Северо-Приазовскую эрозионно-аккумулятивную наклонную равнину с Грушевским, Родионово-Несветайским и Новочеркасским плато, Азово-Кубанскую низменность, с Доно-Егорлыкской аккумулятивной равниной, являющейся северным геоморфологическим районом Азово-Кубанской низменности, Западную часть обширной Прикаспийской низменности, Терско-Кумскую низменность с Прикумской полупустынной равниной (Ногайская степь) и Терско-Кумским песчаным массивом.

Область включает пять районов: Новоаннинско-Заветнинский; Морозовский; Белоглинский; Черный; Ельтонский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления (45 %), сильные ветры (27 %), метели (25 %), что, очевидно, в связи разнородностью форм рельефа.

Изучение выделенных при районировании областей и районов позволяет сделать следующие выводы:

- первая область отличается весьма однородным возвышенным и расчлененным рельефом, поэтому доля гололедно-изморозевых явлений в ней достаточно велика;
- вторая область характеризуется вогнутой формой рельефа, что создает оптимальные условия для метелей;
- третья область с весьма разнородными физико-географическими условиями создает чрезвычайно благоприятные условия для протекания наиболее повторяющихся опасных явлений, а, именно, гололеда, изморози, сильных ветров, метелей.

Кроме того, конфигурация речной сети (речных долин) создает также дополнительные оптимальные условия для протекания ОЯ. Что подтверждает георетический вывод о совместном взаимодействии

вии основных климатообразующих факторов циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности в направлении возникновения опасных явлений погоды.

Проведенное районирование с выделением округов и районов наибольшей частоты ОЯ необходимо учитывать при размещении вновь создаваемых народно-хозяйственных объектов в целях снижения суммы экономического ущерба.

## **8. Апробация методов математической статистики для прогнозирования опасных явлений погоды**

### **8.1. Расчет условной вероятности и минимизация риска опасных явлений погоды**

Математико-статистические исследования опасных явлений погоды юга России во времени и пространстве обусловили необходимость создания базы данных на основе метеорологических ежемесячников и ежегодников Росгидромета. Выборка ОЯ производилась с учетом критериев, принятых в Северо-Кавказском территориальном Управлении Гидрометслужбы, а также исходя из утвержденных Руководящих Документов (РД № 52.04.563-2002). При этом временной интервал охватывал в среднем 50 лет (данные с 1950 по 2001 гг.). Были отобраны репрезентативные метеорологические станции с непрерывными рядами наблюдений, расположенные на равнинных территориях Ростовской, Волгоградской, Астраханской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, а также в Калмыкии.

На первичном этапе база данных содержала таблицы ОЯ, содержащие даты их возникновения, продолжительность (начало—окончание), интенсивность, а также географический район (станция, пост, пункт наблюдения). Кроме того, имелась информация о сопутствующих им явлениях, о синоптической обстановке в момент их возникновения. В дальнейшем, первичная информация была обработана и сформирована вторичная база данных, представляющая собой хронологические числовые ряды ОЯ.

Представление об атмосфере как о динамической системе, эволюционно развивающейся и обладающей свойством детерминиро-

ванного хаоса, позволяет применить для изучения тенденций смены ее состояния методы математической статистики. Кроме того, неустойчивость атмосферы является одной из причин ее стохастичности и слабой прогнозируемости параметров. Отсюда, в рамках математико-статистических подходов к реализации задачи определения условий, наиболее вероятных для возникновения ОЯ, применим метод Байеса с последующей его оценкой методом минимакса.

Для чего преобразуем созданную базу данных, состоящую из набора признаков или условий для возникновения неустойчивости атмосферы и погодного опасного явления. При этом признаки аналогичны числовым значениям параметров и обозначены следующим образом: 0 — слабый по интенсивности признак (небольшое значение параметра); 1 — средний признак; 2 — значительный признак. Также признаки являются двухразрядными, то есть определенный их набор имеется для аномалий и без них.

К силу параметров, способствующих возмущенности атмосферы, будем относить ежедневные и среднемесячные данные:

- числа Вольфа;
- интенсивность планетарной высотной фронтальной зоны;
- мощность магнитной бури (архив ИЗМИРАН, 1994–2000 гг.) [113–114];
- интенсивность циркуляции атмосферы;
- изменения метеорологических элементов (температуры воздуха, облачности, количества осадков, скоростей градиентного и геострофического ветра на высоте 10 км, приземного атмосферного давления).

Коэффициенты взаимной корреляции между данными параметрами в среднем составили 0,09. В рамках данной задачи будем исходить из их непосредственной независимости.

Обработка базы для апробации метода Байеса представляла собой преобразование числовых значений параметров в соответствующие им величины двухразрядных признаков, при наличии аномалии и при ее отсутствии.

Программа создана с использованием технологии *.NET* на языке *Visual Basic*.

В окне «Файл базы данных» указывается место расположения файла базы данных с расширением *.xls* на диске. Значения признаков метеорологических условий за определённые промежутки вре-

мени располагаются в столбцах и могут принимать значения от 0 до 4. Максимально возможное количество признаков — 10. В последнем столбце базы данных указывается наличие опасного явления (0 или 1).

В окне «Файл текущих условий» указывается место расположения файла с расширением *.xls*, содержащего описание сложного признака *k*, описывающего текущую метеорологическую обстановку. Вероятность возникновения опасного явления при данной метеорологической обстановке будет записана программой в последний столбец этого файла.

В девяти первых столбцах указаны значения рассматриваемых признаков по дням, в десятом столбце указано, наблюдалось ли в эти дни опасное явление.

В строках файла текущих условий указаны сложные признаки, для которых высчитывается вероятность возникновения опасного явления.

Последний столбец таблицы содержит вероятности возникновения опасного явления для каждого сложного признака.

При использовании методов статистической теории принятия решений правило постановки диагноза определяют из условий минимизации риска или вероятностей ошибочных решений при диагностировании. Выбор того, какие из указанных величин минимизируются, зависит от наличия априорной информации для постановки диагноза.

В настоящее время указанная методика была применена впервые для исследования конвективных, барогradientных и температурных явлений для территории юга России. Преимуществом ее является то, что она позволяет с достаточно высокой степенью достоверности оценить условную вероятность наступления опасных явлений погоды при наблюдающихся отдельных метеорологических и геофизических условиях.

Кроме того, в результате расчетов удалось выявить комплекс геофизических и метеорологических условий, наиболее вероятно приводящих к риску возникновения ОЯ. Это следующий набор:

- средняя активность магнитосферы;
- повышенные скорости геострофического ветра на высоте 10 км;
- высокая интенсивность атмосферной циркуляции, а, именно, повышенная интенсивность антициклональной циркуляции.

Так же были установлены следующие тенденции взаимосвязи между активностью магнитного поля Земли и опасными явлениями погоды:

1. Между моментами сильных магнитных бурь и ОЯ существует, скорее, обратная зависимость.
2. Средне- или слабовозмущенное магнитное поле при повышенной интенсивности циклонической циркуляции в наибольшей мере способствовало возникновению искомых событий.
3. Выявлен так называемый временной фактор или момент запаздывания пиков активности магнитосферы и данными явлениями, а именно, явления наблюдались спустя 20 дней после наступления магнитной бури.

Определены сочетания диагностических параметров, при которых минимальна ошибка первого рода  $P_f$ , а вероятность опасных явлений наиболее высока.

Например, для отдельных лет XX в. интенсивность антициклональной циркуляции не менее 0,3 (гПа/100 км) при вертикальной – 2,1 (м/с) и горизонтальной составляющих 0,5 (м/с) скоростей геострофического ветра в большинстве случаев приводили к погодным ОЯ. С другой стороны, магнитная активность Земли не менее 2,3 баллов, вертикальная –1,7 (м/с) и горизонтальная –0,3 (м/с) составляющие скорости геострофического ветра также способствуют возникновению ОЯ.

Анализ и обобщение полученных результатов апробации метода минимакса позволили установить, что ошибки при диагностике неустойчивого состояния атмосферы минимальны при следующем сочетании диагностируемых параметров:

- антициклональная циркуляция при небольшой интенсивности;
- слабовозмущенное магнитное поле Земли;
- средние скорости геострофического ветра на высоте 10 км при преобладании отрицательных знаков векторов как вертикального, так и горизонтального переносов.

Вероятно, повышение солнечной активности и, как следствие, увеличение возмущенности магнитосферы Земли, в итоге, создавая так называемый шумовой эффект, приводят к возрастанию ошибок при диагностике состояния неустойчивости атмосферы.

Рассмотрение атмосферы как сложной системы с присущим ей свойством самоорганизации позволяет применить соответствующие

методы Байеса и минимакса для определения рисков ее перехода в неустойчивое состояние, которое сопровождается опасными явлениями погоды. Кроме того, появляется возможность обозначить степень влияния тех или иных параметров на состояние атмосферы. В данном случае, в частности, выявлена необходимость увеличения количества диагностических параметров для повышения качества выходной информации.

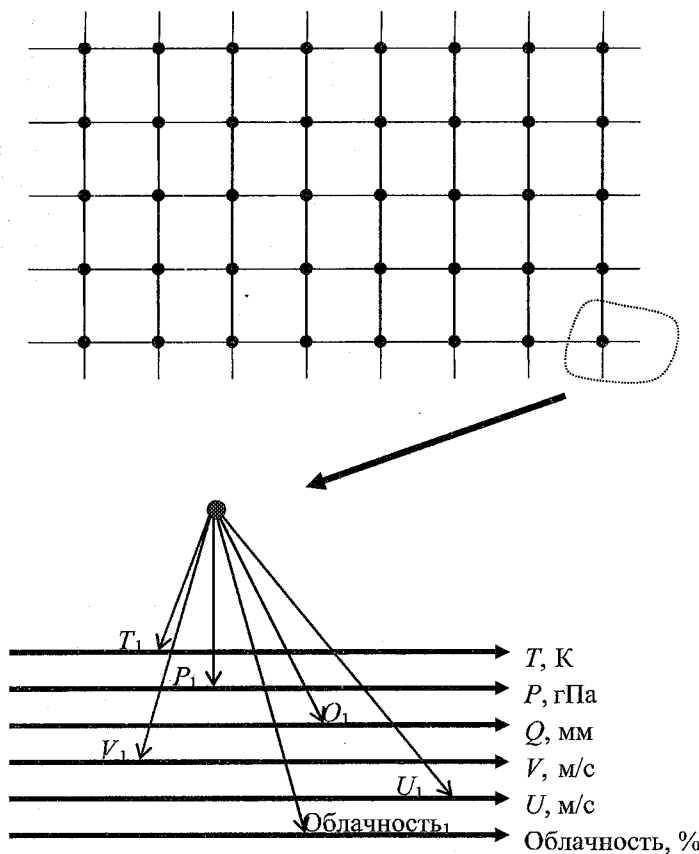
## 8.2. Моделирование опасности метеоситуации при помощи нейросетей

*Сети Кохонена* — одна из разновидностей нейросетей — отличаются способностью к самообучению, интуитивному анализу информации, возможности модификации и подбору входящих численных параметров, что позволяет их применить для анализа метеоситуации с позиции возникновения опасных явлений погоды и последующего расчета их рисков.

На рисунке 41 показан фрагмент построенной сети, представляющей собой многомерную решетку, с каждым узлом которой ассоциирован весовой вектор (набор из  $k$  весов нейрона) в разрезе. В данном случае работа нейрона (элементарного компонента сети) складывается из анализа заданных метеопараметров: температура воздуха (в градусах Кельвина), облачность (%), количество осадков (слой воды в мм), векторные составляющие скорости геострофического ветра (м/с), атмосферное приземное давление (в гПа).

При этом важным свойством *сетей Кохонена* является не только возможность ассоциативного изучения, но и распознавание ситуаций и, в частности, нестандартных. Именно это свойство оказалось весьма приемлемым для реализации задачи анализа, исследования и определения рисков опасных явлений погоды.

Кроме того, множества входных данных, используемых для работы сети, могут быть детерминированными или стохастическими (с определенной долей шумов и различными комбинациями или сочетанием усеченных законов распределения). В свою очередь, опасным явлениям погоды, во временных рядах которых присутствует шумовая составляющая, в большей степени характерны дискретные усеченные комбинированные законы распределения.



**Рис. 41.** Общий вид сети Кохонена при анализе метеоситуации.

Наконец, точность выходных данных определяется и зависит от набора входных параметров, а также от возможности глобального изменения анализируемой ситуации. В рамках данной задачи — определения климатических рисков — результат предполагает достаточный комплекс вводимых параметров (в пределах шестимерного пространства), по крайней мере, во временном отношении (50-летний период).

Для реализации задачи была создана отдельная база данных в виде нормального (без ОЯ) числового поля, ограниченного квадратом со сторонами  $60\text{--}40^\circ$  с.ш.,  $40\text{--}60^\circ$  в.д. В ее состав входили еже-

дневные метеорологические данные, включающие следующие параметры: облачность, количество осадков, атмосферное давление, температура воздуха, составляющие геострофического ветра (архив *NCP/NCAR* с 1948 по 2000 гг.). Также на основе данных об аномалиях была получена вторая база метеорологической ситуации для дат опасных явлений погоды.

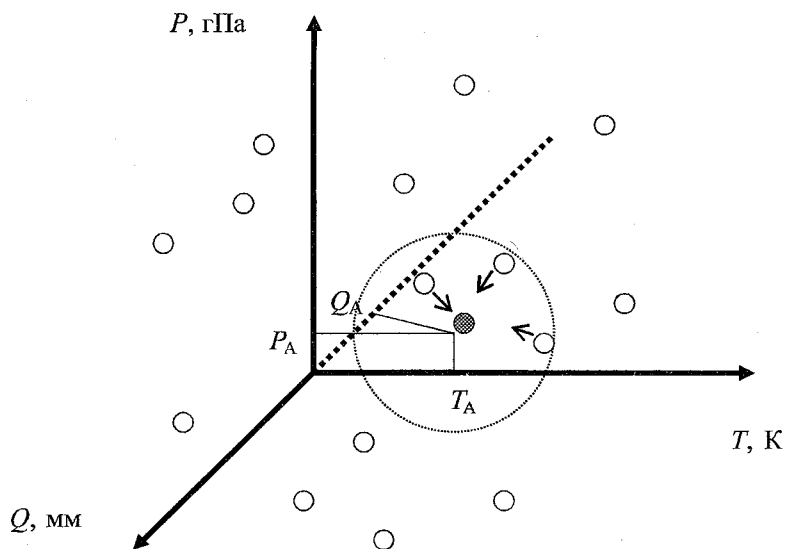
Обработка базы данных производилась следующим образом:

- произведен пересчет диапазона изменения значений величин метеозлементов от 0 до 100;
- произведено нормирование вектора метеорологической ситуации для каждого дня;
- исходя из полученных значений, произведена оценка вероятности возникновения опасного явления при помощи программы имитатора нейронной сети.

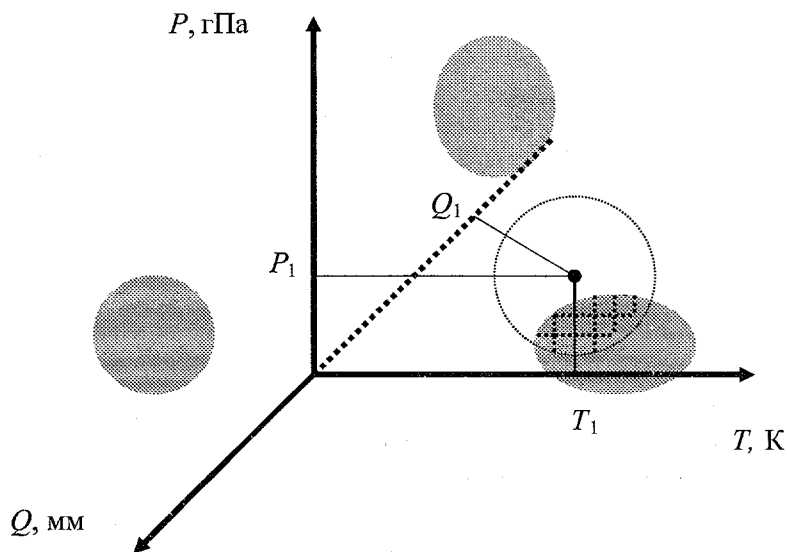
При этом, под рисками или вероятностями\* прогнозируемых ОЯ, исходя из данных условий, считалось отношение концентрации нейронов в окрестности исследуемой точки к максимальной концентрации нейронов в пространстве задачи.

Работа и настройка сети заключалась в том, что начальные значения координат нейронов выбираются случайно. Затем производилось нормирование вектора координат нейронов. Определялся нейрон-победитель. Для каждого опасного явления погоды производилась коррекция векторов координат всех нейронов. Коррекция вектора координат производилась с помощью кусочно-аналитической функции. Обучение сети осуществляется в два этапа. Во время первого этапа окрестность нейрона-победителя достаточно велика, а функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя не равна нулю. Во время второго этапа окрестность нейрона-победителя близка к нулю, функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя равна нулю.

На рисунке 42 показано осуществление двух этапов обучения сети для трех параметров (атмосферное давление, количество осадков и температура воздуха), процедура сохраняется для оставшихся из шести возможных параметров. Окрестность нейрона-победителя представляет собой круговую область, в которую стремятся другие нейроны из пространства сети. При этом и нейрон-победитель и остальные нейроны устремляются к той точке в пространстве сети, для которой при наборе из шести метеопараметров наблюдались ОЯ.



**Рис. 42.** Схема обучения нейрона для случая трехмерного пространства параметров.



**Рис. 43.** Работа обученной нейросети для случая трехмерного пространства параметров.

В процессе обучения и работы сети нейроны продолжают скапливаться в определенных точках многомерной решетки, соответствующих сочетанию метеопараметров при опасных явлениях погоды, и образуют так называемые «облака» или области с максимальной своей концентрацией как показано на рисунке 43 для трех параметров в рамках трехмерного пространства.

Результатом работы программы является отношение количества нейронов в его окрестности к максимальной концентрации. На рисунке 44 представлена процедура определения вероятности или риска ОЯ. В данном случае рассчитывается площадь фигуры, которая получается при пересечении окрестности нейрона-победителя с «облаком нейронов».

Модель нейронной сети создана с использованием технологии .NET на языке *Visual Basic*.

При вызове программы на экране пользователя появляется главная форма программы.

В окне «число нейронов» указывается желательное количество нейронов решетки, участвующих в формировании результата.

В окне «число входов» указывается количество параметров, характеризующих метеорологическую обстановку. Данное число не должно превышать количество столбцов таблиц входных файлов.

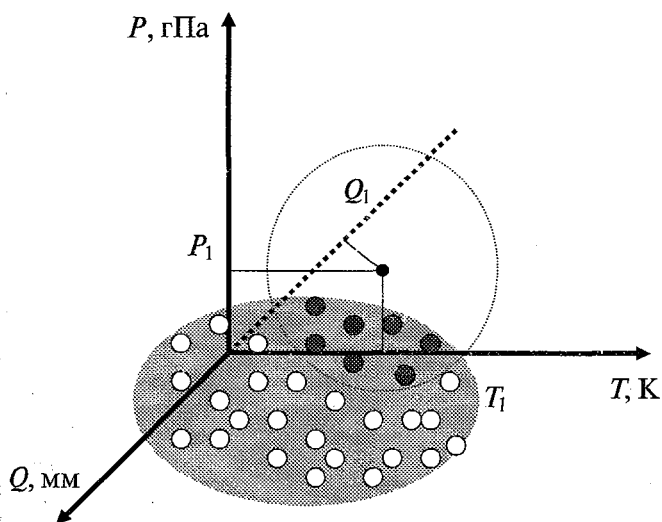


Рис. 44. Определение вероятности появления опасного явления погоды.

После обучения нейросети, максимальная концентрация нейронов в пространстве принимается за единицу.

В результате работы предлагаемой нейросети получены вероятности возникновения ряда погодных ОЯ, при диапазоне их значений от 0 до 0,96.

Анализ различных сочетаний метеозлементов, в большинстве случаев приводивших к тем или иным опасным явлениям погоды, позволил, на основании типизации, выявить ситуацию, соответствующую появлению конвективных, бароградиентных и температурных ОЯ юга России.

В качестве примера можно привести некоторые их значения: атмосферное давление 1009–1027 гПа; вертикальные и горизонтальные составляющие скорости геострофического ветра на высотах 10 км:  $-3,87 + 5,12$  м/с; температура воздуха 272,9–290,5 К; количество осадков от 0 до 0,0001 мм; облачность 41,4–78,7 %. Т. е., такие сочетания свидетельствует о преобладающей роли антициклональной циркуляции в возникновении опасных явлений погоды в пределах объекта исследования. Это, по крайней мере, подтверждается и повышенным фоном давления, и малым количеством осадков, и незначительным облачным покровом (данные 40–80 % могут быть, например, остаточной фронтальной облачностью).

Согласно данным таблицы 18 для заданного района с известными географическими координатами возможно определить наиболее вероятные значения метеорологических элементов для прогнозиро-

Таблица 18

**Примеры наиболее вероятных ( $p \sim 0,9$ ) значений параметров метеорологической ситуации для отдельных опасных явлений погоды на 50° с.ш. и 50° в.д.**

| Опасное явление погоды | Параметр метеорологической ситуации |        |       |          |        |        |
|------------------------|-------------------------------------|--------|-------|----------|--------|--------|
|                        | O, %                                | P, гПа | T, К  | Q, мм    | U, м/с | V, м/с |
| Сильные ветры          | 57,8                                | 1016   | 285,8 | 0,5      | -3,87  | -0,02  |
| Град                   | 77,8                                | 1016   | 277,4 | 0,8      | 0,95   | 1,36   |
| Пыльные бури           | 43,5                                | 1040   | 276,5 | 0,1      | 6,66   | 3,01   |
| Метели                 | 34,9                                | 1013   | 268,7 | 0,000001 | -4,62  | -2,67  |
| Сильные дожди          | 73,0                                | 1012   | 302,0 | 0,000001 | -2,79  | 1,81   |

вания ОЯ. В данном случае приведены примеры для точки с координатами  $50^\circ$  с.ш.— $50^\circ$  в.д., однако получены в настоящее время величины для квадрата  $60\text{--}40^\circ$  с.ш. и  $40\text{--}60^\circ$  в.д.

Кроме того, рассмотрение вклада каждого в отдельности метеопараметра позволило выявить роль составляющих геострофического потока на высотах 10 км, значения и знаки векторов которых изменялись в случаях возникновения или отсутствия ОЯ.

При этом в пределах 50-х широт было установлено, что:

- восточная составляющая (отрицательный знак вектора скорости) зонального геострофического переноса ( $U$ , м/с) характерна для случаев барогradientных и температурных аномалий, а конвективные явления, в свою очередь, наблюдались при западном потоке;
- южная составляющая (положительный знак) меридионального геострофического переноса ( $V$ , м/с) преобладала в случаях конвективных и температурных явлений, барогradientные аномалии были обусловлены северным потоком.

Данные утверждения требуют дальнейшего исследования, однако составляющие скорости геострофического ветра можно считать важными показателями для изучения возникновения ОЯ и расчета их рисков.

Нейросеть была опробована в настоящее время для исследования конвективных, барогradientных и температурных явлений для территории юга России. Преимуществом ее является возможность комплексно оценивать метеорологическую ситуацию, способствующую возникновению аномальных явлений погоды, то есть определять их риски на ином качественном уровне при сочетании параметров. Расширение массива входной информации предоставит возможность производить перспективные оценки вероятностей явлений и для других территорий.

### 8.3. Аппроксимация конечных цепей Маркова для прогноза опасных явлений погоды

Наибольший интерес для задач прогноза будущих значений диагностируемых величин имеют конечные цепи Маркова. Впервые их применили Т. А. Сарымсаков, В. А. Бугаев и В. А. Джорджио.

Однако все эти работы были посвящены анализу качественной стороны гидрометеорологических явлений [82].

В данном случае для получения прогностических значений опасных явлений погоды будем определять возможность применения конечных цепей Маркова. В качестве объекта исследования примем нижний слой тропосферы с опасными явлениями погоды: сильный ветер, гололед, изморозь, сильные дожди и прочее.

Моделирование производилось с использованием технологии .NET на языке *Visual Basic*.

При вызове программы на экране пользователя появляется главная форма программы. В окне «число интервалов» указывается желательное количество отрезков, на которые делится данный хронологический ряд. Данное число имеет значение в случае проверки гипотезы 1 о стационарности абсолютных вероятностей. В рамках решаемой задачи установлено, при увеличении количества интервалов, статистика  $t_1$  незначительно, но также постепенно возрастает. Откуда рекомендуется оптимальное количество делений не более 10–15 (если ряд имеет всего от 365 до 740 значений). Поэтому существенно менялась только величина  $t_1$  при изменении выборок (т. е. длины ряда) и количества интервалов соответственно от 15,2 до 55,3.

Статистика  $t_2$  гипотезы 2 об однородности цепи Маркова показала весьма близкую сходимость теоретических соображений и рассчитанных значений. Так, по формуле (6) логично, что  $t_2$  стремится к нулю, это, очевидно, следует из уравнения. Рассчитанные значения в случаях всех выборок и генеральной совокупности показали высокую сходимость к этому утверждению: значения  $t_2$  во всех случаях составили от 0,04 до 0,1.

Наконец, третья гипотеза — собственно марковости цепи — показала достаточную близость теоретических или критических значений к рассчитанным. Статистика  $t_3$  была проверена при помощи критерия сходимости — коэффициента Пирсона (критерий  $\chi^2$ ). Так, при уровне значимости 0,05 и, исходя из того, что  $(m-1)^2 = 1$  при  $m=2$  (2 состояния,  $i$  и  $j$ ), т. е. степень свободы равна 1; вероятность сходимости значений  $t_3$  по  $\chi^2$  изменяется от 0,08 до 0,43.

Отсюда можно сделать вывод о возможности аппроксимации цепей Маркова для прогнозирования будущих значений опасных явлений погоды. Однако большое значение в данном случае имеет не

только продолжительность выборки, но и ее состав и однородное распределение состояний  $i$  и  $j$ , что на практике не всегда имеет место.

Тем не менее, реализация цели и проверка трех статистических гипотез на установление марковости рядов опасных явлений показала принципиальную допустимость такого рода исследований, несмотря на объективную дискретность и разнородность выборок.

Таким образом, подтверждение приведенных статистических гипотез позволяет производить прогноз будущих значений вероятностей аномалий погоды на основании настоящих, реально полученных.

## **9. Расчеты нагрузок, возникающих при ОЯ, и перспективы дальнейшего хозяйственного развития юга России**

### **9.1. Расчет отдельных видов нагрузок, обусловленных метеорологическими элементами**

Согласно СНиП 2.01.07-85\*, разработанному Министерством Строительства СССР, а также соответствующими организациями, при проектировании следует учитывать нагрузки, возникающие при возведении и эксплуатации сооружений, а также при изготовлении, хранении и перевозке строительных конструкций.

Основными характеристиками нагрузок, установленными в соответствующих нормах, являются их нормативные значения.

Нагрузка определенного вида характеризуется, как правило, одним нормативным значением. В частности, для нагрузок от снеговых, температурных климатических воздействий устанавливаются два нормативных значения: полное и пониженное (вводится в расчет при необходимости учета влияния длительности нагрузок, проверке на выносливость и в других случаях, оговоренных в нормах проектирования конструкций и оснований).

Расчетное значение нагрузки определяют как произведение ее нормативного значения на коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma$ , соответствующий рассматриваемому предельному состоянию.

Расчетные значения нагрузок при наличии статистических данных допускается определять непосредственно по заданной вероятности их превышения.

При расчете конструкций и оснований для условий возведения зданий и сооружений расчетные значения снеговых, ветровых, гололедных нагрузок и температурных климатических воздействий снижают на 20 %.

### Классификация нагрузок

В зависимости от продолжительности действия нагрузок различают постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые) нагрузки

К длительным нагрузкам относят, кроме прочих:

- снеговые нагрузки с пониженным нормативным значением, определяемым умножением полного нормативного значения в соответствии с указаниями на коэффициент для различных снеговых районов,
- температурные климатические воздействия с пониженными нормативными значениями, определяемыми в соответствии с методикой при условии  $\theta_1 = \theta_2 = \theta_3 = \theta_4 = \theta_5 = 0$ ,  $\Delta_I = \Delta_{VII} = 0$ ;

К кратковременным нагрузкам относят, кроме прочих:

- снеговые нагрузки с полным нормативным значением;
- температурные климатические воздействия с полным нормативным значением;
- ветровые нагрузки;
- гололедные нагрузки.

Методика расчетов отдельных видов нагрузок, обусловленных метеорологическими элементами

1. *Снеговые нагрузки.* Полное нормативное значение снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия  $s$  следует определять по формуле:

$$s = s_0 \mu \quad (47),$$

где  $s_0$  — нормативное значение веса снегового покрова на 1 м<sup>2</sup> горизонтальной поверхности земли;  $\mu$  — коэффициент перехода от веса снегового покрова земли к снеговой нагрузке на покрытие.

Нормативное значение веса снегового покрова  $s_0$  на  $1 \text{ м}^2$  горизонтальной поверхности земли следует принимать в зависимости от снегового района РФ.

При этом промежуточные значения коэффициента  $\mu$  необходимо определять линейной интерполяцией.

В тех случаях, когда более неблагоприятные условия работы элементов конструкций возникают при частичном загрузении, следует рассматривать схемы со снеговой нагрузкой, действующей на половине или четверти пролета (для покрытий с фонарями — на участках шириной  $b$ ).

*Примечание.*

В необходимых случаях снеговые нагрузки следует определять с учетом предусмотренного дальнейшего расширения здания. Нормативное значение веса снегового покрова в горных и малоизученных районах, а также в пунктах с высотой над уровнем моря более 1500 м и в местах со сложным рельефом следует устанавливать на основании данных Госкомгидромета. При этом в качестве нормативного значения веса снегового покрова  $s_0$  следует принимать среднее значение ежегодных максимумов запаса воды по результатам снегосъемок на участке, защищенном от воздействия ветра, за период не менее 10 лет.

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_t$  для снеговой нагрузки принимают равным 1,4. При расчете элементов конструкции покрытия, для которых отношение учитываемого нормативного значения равномерно распределенной нагрузки от веса покрытия (включая вес стационарного оборудования) к нормативному значению веса снегового покрова  $s_0$  менее 0,8  $\gamma_t$  принимают равным 1,6.

2. *Ветровые нагрузки* на сооружение следует рассматривать как совокупность:

- а) нормального давления  $w_e$ , приложенного к внешней поверхности сооружения или элемента;
- б) сил трения  $w_f$ , направленных по касательной к внешней поверхности и отнесенных к площади ее горизонтальной (для шедовых или волнистых покрытий, покрытий с фонарями) или вертикальной проекции (для стен с лоджиями и подобных конструкций);
- в) нормального давления  $w_i$ , приложенного к внутренним поверхностям зданий с проницаемыми ограждениями, с открывающимися или постоянно открытыми проемами; либо как нормальное

давление  $w_x, w_y$ , обусловленное общим сопротивлением сооружения в направлении осей  $x$  и  $y$  и условно приложенное к проекции сооружения на плоскость, перпендикулярную соответствующей оси.

При проектировании высоких сооружений, относительные размеры которых удовлетворяют условию  $h/d > 10$ , дополнительно производят поверочный расчет на вихревое возбуждение (ветровой резонанс); здесь  $h$  — высота сооружения,  $d$  — минимальный размер поперечного сечения, расположенного на уровне  $2/3h$ .

Ветровую нагрузку определяют как сумму средней и пульсационной составляющих.

При определении внутреннего давления  $w_i$ , а также при расчете многоэтажных зданий высотой до 40 м и одноэтажных производственных зданий высотой до 36 м при отношении высоты к пролету менее 1,5, пульсационную составляющую ветровой нагрузки допускается не учитывать.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки  $w_m$  на высоте  $z$  над поверхностью земли определяют по формуле:

$$w_m = w_0 k \quad (48),$$

где  $w_0$  — нормативное значение ветрового давления;  $k$  — коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте;  $c$  — аэродинамический коэффициент.

Нормативное значение ветрового давления  $w_0$  следует принимать в зависимости от ветрового района РФ. Для горных и малоизученных районов, нормативное значение ветрового давления  $w_0$  допускается устанавливать на основе данных метеостанций Госкомгидромета, а также результатов обследования районов строительства с учетом опыта эксплуатации сооружений. При этом нормативное значение ветрового давления  $w_0$  (Па) определяют по формуле:

$$w_0 = 0,61 v_0^2, \quad (49),$$

где  $v_0$  — численно равно скорости ветра, м/с, на уровне 10 м над поверхностью земли, соответствующей 10-минутному интервалу осреднения и превышаемой в среднем раз в 5 лет (если техническими условиями, утвержденными в установленном порядке, не регламентированы другие периоды повторяемости скоростей ветра).

Коэффициент  $k$ , учитывающий изменение ветрового давления по высоте  $z$ , определяется в зависимости от типа местности. Принимаются следующие типы местности:  $A$  — открытые побережья морей, озер и водохранилищ, пустыни, степи, лесостепи, тундра;  $B$  — городские территории, лесные массивы и другие местности, равномерно покрытые препятствиями высотой более 10 м;  $C$  — городские районы с застройкой зданиями высотой более 25 м. Сооружение считается расположенным в местности данного типа, если эта местность сохраняется с наветренной стороны сооружения на расстоянии  $30h$  — при высоте сооружения  $h$  до 60 м и 2 км — при большей высоте. Примечание. При определении ветровой нагрузки типы местности могут быть различными для разных расчетных направлений ветра.

При определении компонентов ветровой нагрузки  $w_e, w_f, w_i, w_x, w_y$  используют соответствующие значения аэродинамических коэффициентов: внешнего давления  $c_e$ , трения  $c_f$ , внутреннего давления  $c_i$  и лобового сопротивления  $c_x$  или  $c_y$ . Знак «плюс» у коэффициентов  $c_e$  или  $c_i$  соответствует направлению давления ветра на соответствующую поверхность, знак «минус» — от поверхности. Промежуточные значения нагрузок определяют линейной интерполяцией.

При расчете креплений элементов ограждения к несущим конструкциям в углах здания и по внешнему контуру покрытия следует учитывать местное отрицательное давление ветра с аэродинамическим коэффициентом  $c_e = -2$ , распределенное вдоль поверхностей на ширине 1,5 м.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки  $w_p$  на высоте  $z$  определяют:

а) для сооружений (и их конструктивных элементов), у которых первая частота собственных колебаний  $f_1$ , Гц, больше предельного значения собственной частоты  $f_b$ , — по формуле:

$$w_p = w_m \zeta \nu, \quad (50)$$

где  $\zeta$  — коэффициент пульсации давления ветра на уровне  $z$ ;  $\nu$  — коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра;

б) для сооружений (и их конструктивных элементов), которые можно рассматривать как систему с одной степенью свободы (поперечные рамы одноэтажных производственных зданий, водонапорные башни и т. д.), при  $f_1 < f_b$  — по формуле:

$$w_p = w_m \xi \zeta, \quad (51),$$

где  $\xi$  — коэффициент динамичности, определяемый в зависимости от параметра  $\varepsilon = \frac{\sqrt{\gamma_t w_0}}{940 f_1}$  и логарифмического декремента колеба-

ний  $\delta$ ;  $\gamma_t$  — коэффициент надежности по нагрузке;  $w_0$  — нормативное значение ветрового давления, Па;

в) для зданий, симметричных в плане, у которых  $f_1 < f_i$ , а также для всех сооружений, у которых  $f_1 < f_1 < f_2$  (где  $f_2$  — вторая частота собственных колебаний сооружения), — по формуле:

$$w_p = m \xi \psi Y, \quad (52),$$

где  $m$  — масса сооружения на уровне  $z$ , отнесенная к площади поверхности, к которой приложена ветровая нагрузка;  $\xi$  — коэффициент динамичности;  $Y$  — горизонтальное перемещение сооружения на уровне  $z$  по первой форме собственных колебаний (для симметричных в плане зданий постоянной высоты в качестве  $Y$  допускается принимать перемещение от равномерно распределенной горизонтально приложенной статической нагрузки);  $\psi$  — коэффициент, определяемый посредством деления сооружения на  $r$  участков, в пределах которых ветровая нагрузка принимается постоянной, по формуле:

$$\psi = \frac{\sum_{k=1}^r y_k w_{pk}}{\sum_{k=1}^r y_k^2 w_k}, \quad (53),$$

где  $M_k$  — масса  $k$ -го участка сооружения;  $y_k$  — горизонтальное перемещение центра  $k$ -го участка;  $w_{pk}$  — равнодействующая пульсационной составляющей ветровой нагрузки, на  $k$ -й участок сооружения.

Для многоэтажных зданий с постоянными по высоте жесткостью, массой и шириной наветренной поверхности нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на уровне  $z$  определяют по формуле:

$$w_p = 1,4z/h \xi w_{ph} \quad (54),$$

где  $w_{ph}$  — нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высоте  $h$  верха сооружения.

Значение логарифмического декремента колебаний  $\delta$  принимают:

- а) для железобетонных и каменных сооружений, а также для зданий со стальным каркасом при наличии ограждающих конструкций  $\delta = 0,3$ ;
- б) для стальных башен, мачт, футерованных дымовых труб, аппаратов колонного типа, в том числе на железобетонных постаменах,  $\delta = 0,15$ .

Коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления  $\nu$  следует определять для расчетной поверхности сооружения, на которой учитывается корреляция пульсаций.

Расчетная поверхность включает в себя те части поверхности наветренных, подветренных, боковых стен, кровли и подобных конструкций, с которых давление ветра передается на рассчитываемый элемент сооружения.

Коэффициент надежности по ветровой нагрузке  $\gamma_t$  следует принимать равным 1,4.

3. Гололедные нагрузки необходимо учитывать при проектировании воздушных линий электропередачи и связи, контактных сетей электрифицированного транспорта, антенно-мачтовых устройств и подобных сооружений.

Нормативное значение линейной гололедной нагрузки для элементов кругового сечения диаметром до 70 мм, включая провода, тросы, оттяжки, мачты, ванты и др.,  $i$ , Н/м, следует определять по формуле:

$$i = \pi b k \mu_1 (d + b k \mu_1) \rho g \cdot 10^{-3}. \quad (55)$$

Нормативное значение поверхностной гололедной нагрузки  $i'$ , Па, для других элементов следует определять по формуле:

$$i' = b k \mu_2 \rho g. \quad (56)$$

В этих формулах:  $b$  — толщина стенки гололеда, мм (превышаемая раз в 5 лет), на элементах кругового сечения диаметром 10 мм, расположенных на высоте 10 м над поверхностью земли и более 200 м, принимаются по специальным таблицам. Для других периодов повторяемости толщину стенки гололеда следует принимать по специальным техническим условиям, утвержденным в установленном порядке;  $k$  — коэффициент, учитывающий изменение толщины стен-

ки гололеда по высоте;  $d$  — диаметр провода, троса, мм;  $\mu_1$  — коэффициент, учитывающий изменение толщины стенки гололеда в зависимости от диаметра элементов кругового сечения;  $\mu_2$  — коэффициент, учитывающий отношение площади поверхности элемента, подверженной обледенению, к полной площади поверхности элемента и принимаемый равным 0,6;  $\rho$  — плотность льда, принимаемая равной  $0,9 \text{ г/см}^3$ ;  $g$  — ускорение свободного падения,  $\text{м/с}^2$ .

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma$ , для гололедной нагрузки следует принимать равным 1,3, за исключением случаев, оговоренных в других нормативных документах.

Давление ветра на покрытые гололедом элементы следует принимать равным 25 % нормативного значения ветрового давления  $w_0$ .

#### *Примечания.*

1. В южных районах РФ, где наблюдаются сочетания значительных скоростей ветра с большими размерами гололедно-изморозевых отложений, толщину стенки гололеда и его плотность, а также давление ветра принимают в соответствии с фактическими данными.

2. При определении ветровых нагрузок на элементы сооружений, расположенных на высоте более 100 м над поверхностью земли, диаметр обледенелых проводов и тросов, установленный с учетом толщины стенки гололеда, умножают на коэффициент, равный 1,5.

Промежуточные значения величин следует определять линейной интерполяцией.

Толщину стенки гололеда на подвешенных горизонтальных элементах кругового сечения (тросах, проводах, канатах) принимают на высоте расположения их приведенного центра тяжести.

Для определения гололедной нагрузки на горизонтальные элементы круговой цилиндрической формы диаметром до 70 мм толщину стенки гололеда, снижают на 10 %.

Температуру воздуха при гололеде независимо от высоты сооружений принимают в горных районах с отметкой: более 2000 м — минус  $15^\circ\text{C}$ , от 1000 до 2000 м — минус  $10^\circ\text{C}$ ; для остальной территории РФ для сооружений высотой до 100 м — минус  $5^\circ\text{C}$ , более 100 м — минус  $10^\circ\text{C}$ .

#### *Примечание.*

В южных районах, где при гололеде наблюдается температура ниже минус  $15^\circ\text{C}$ , ее следует принимать по фактическим данным.

4. *Температурные климатические воздействия.* В случаях, предусмотренных нормами проектирования конструкций, учитывают изменение во времени  $\Delta t$  средней температуры и перепад температуры и по сечению элемента.

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента соответственно в теплое  $\Delta t_w$  и холодное  $\Delta t_c$  время года определяют по формулам:

$$\Delta t_w = t_w - t_{0c}; \quad (57)$$

$$\Delta t_c = t_c - t_{0w}, \quad (58)$$

где  $t_w, t_c$  — нормативные значения средних температур по сечению элемента в теплое и холодное время года;  $t_{0w}, t_{0c}$  — начальные температуры в теплое и холодное время года. Нормативные значения средних температур  $t_w$  и  $t_c$  и перепадов температур по сечению элемента в теплое  $\vartheta_w$  и холодное  $\vartheta_c$  время года для однослойных конструкций следует определять по соответствующим таблицам.

*Примечание.*

Для многослойных конструкций  $t_w, t_c, \vartheta_w, \vartheta_c$  определяются расчетом. Конструкции, изготовленные из нескольких материалов, близких по теплофизическим параметрам, допускается рассматривать как однослойные.

Средние суточные температуры наружного воздуха в теплое  $t_{ew}$  и холодное  $t_{ec}$  время года определяют по формулам:

$$t_{ew} = t_{VII} + \Delta_{VII}, \quad (59)$$

$$t_{ec} = t_I - \Delta_I, \quad (60)$$

где  $t_I, t_{VII}$  — многолетние средние месячные температуры воздуха в январе и июле, принимаемые по соответствующим картам;  $\Delta_I, \Delta_{VII}$  — отклонения средних суточных температур от средних месячных ( $\Delta_I$  — принимается по карте,  $\Delta_{VII} = 6^\circ\text{C}$ ).

*Примечания.*

1. В отапливаемых производственных зданиях на стадии эксплуатации для конструкций, защищенных от воздействия солнечной радиации,  $\Delta_{VII}$  допускается не учитывать.

2. Для горных и малоизученных районов РФ, обозначенных на картах,  $t_{ec}, t_{ew}$  определяются по формулам:

$$t_{ec} = t_{1, \min} + 0,5A_1, \quad (61)$$

$$t_{ew} = t_{VII, \max} - 0,5A_{VII}, \quad (62)$$

где  $t_{1, \min}$ ,  $t_{VII, \max}$  — средние из абсолютных значений соответственно минимальной температуры воздуха в январе и максимальной — в июле;  $A_1$ ,  $A_{VII}$  — средние суточные амплитуды температуры воздуха соответственно в январе и в июле при ясном небе.  $t_{1, \min}$ ,  $t_{VII, \max}$ ,  $A_1$ ,  $A_{VII}$  принимаются по данным Госкомгидромета.

Приращения  $\theta_4$  и  $\theta_5$ , °С, определяют по формулам:

$$\theta_4 = 0,05\rho S_{\max}kk_1; \quad (63)$$

$$\theta_5 = 0,05\rho S_{\max}k(1 - k_1), \quad (64)$$

где  $\rho$  — коэффициент поглощения солнечной радиации материалом наружной поверхности конструкции, принимаемый по СНиП II-3-79\*;  $S_{\max}$  — максимальное значение суммарной (прямой и рассеянной) солнечной радиации, Вт/м<sup>2</sup>, принимаемое по СНиП 2.01.01-82;  $k$  — коэффициент, принимаемый по соответствующим таблицам;  $k_1$  — коэффициент, принимаемый по соответствующим таблицам.

Начальную температуру, соответствующую замыканию конструкции или ее части в законченную систему, в теплое  $t_{0w}$  и холодное  $t_{0c}$  время года определяют по формулам:

$$t_{0w} = 0,8t_{VII} + 0,2t_1, \quad (65)$$

$$t_{0c} = 0,2t_{VII} + 0,8t_1. \quad (66)$$

Коэффициент надежности по нагрузке  $\gamma_i$  для температурных климатических воздействий  $\Delta t$  и  $\vartheta$  принимают равным 1,1.

## Полученные результаты

### 1. Снеговая нагрузка.

Полное нормативное значение веса снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия для юга России составляет 50–70 кг · с/м<sup>2</sup>.

### 2. Ветровая нагрузка.

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м изменяется от –30,7 до –25,2 кг · с/м<sup>2</sup>.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м равна –30,1 — –24,7 кг · с/м<sup>2</sup>.

### 3. Гололедная нагрузка.

Нормативное значение линейной гололедной нагрузки для элементов кругового сечения диаметром до 70 мм изменяется от 3,9 до 21,1 Н/м.

### 4. Температурные климатические воздействия.

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента соответственно в теплое и холодное время года для отдельных метеостанций представлены в табл. 19.

Таблица 19

**Рассчитанные нормативные значения изменений  
средних температур для различных сезонов года**

| Метеостанция      | Теплый<br>сезон года | Холодный<br>сезон года |
|-------------------|----------------------|------------------------|
| Астрахань         | +41,8 °С             | -53,2 °С               |
| Верхний Баскунчак | +44,9 °С             | -55,5 °С               |
| Харабали          | +43,8 °С             | -54,6 °С               |
| Волгоград         | +43,6 °С             | -53,8 °С               |
| Калач-на-Дону     | +42,5 °С             | -57,3 °С               |
| Камышин           | +44,8 °С             | -54,1 °С               |
| Котельниково      | +41,9 °С             | -56,1 °С               |
| Серафимович       | +42,2 °С             | -53,6 °С               |
| Урюпинск          | +42,4 °С             | -54,4 °С               |
| Эльтон            | +45,3 °С             | -54,0 °С               |
| Элиста            | +41,6 °С             | -52,3 °С               |
| Армавир           | +37,3 °С             | -51,8 °С               |
| Краснодар         | +36,9 °С             | -54,5 °С               |
| Кропоткин         | +38,0 °С             | -51,5 °С               |
| Майкоп            | +36,0 °С             | -37,4 °С               |
| Новороссийск      | +33,7 °С             | -38,5 °С               |
| Сочи              | +30,5 °С             | -22,1 °С               |
| Староминская      | +38,8 °С             | -51,9 °С               |
| Темрюк            | +36,6 °С             | -47,8 °С               |

Продолжение таблицы 19

| Метеостанция       | Теплый сезон года | Холодный сезон года |
|--------------------|-------------------|---------------------|
| Тихорецк           | +38,2 °С          | -52,1 °С            |
| Туапсе             | +31,8 °С          | -29,8 °С            |
| Каменск-Шахтинский | +40,6 °С          | -57,4 °С            |
| Миллерово          | +40,9 °С          | -53,1 °С            |
| Морозовск          | +41,4 °С          | -55,0 °С            |
| Ростов-на-Дону     | +39,8 °С          | -50,5 °С            |
| Таганрог           | +40,1 °С          | -51,0 °С            |
| Арзгир             | +40,4 °С          | -56,3 °С            |
| Кисловодск         | +35,1 °С          | -43,8 °С            |
| Прикумск           | +40,0 °С          | -54,8 °С            |
| Ставрополь         | +37,4 °С          | -53,1 °С            |

Исходя из вышеперечисленных результатов расчетов, а также проведенных работ по площадному осреднению, можно в качестве рекомендаций по народно-хозяйственному использованию предложить следующие эмпирические заключения:

1. Во всех областях и районах (табл. 17, рис. 40) повышена ветровая нагрузка, доля сильных ветров составляет не менее 20% (от всего количества опасных явлений). В связи с этим рекомендуется сооружения и строительные объекты размещать в соответствии с преобладающими направлениями ветра, избегать строительства высотных сооружений. Для сельского хозяйства необходимым является закладка защитных лесополос, лесопарковое строительство.
2. В первой области, отличающейся повышенной долей гололедно-изморозевых явлений, необходимо учитывать вероятность гололедно-изморозевых нагрузок, особенно для существующих и проектируемых линий электропередач, транспорта.
3. Во второй области с повышенной частотой метелей следует учитывать повышение снеговой нагрузки, в особенности, для транспортных магистралей, существующих и проектируемых, а также для линий электропередач.

Отсюда, при проектировании новых народно-хозяйственных объектов необходимо учитывать физико-географические особенности территории, а также направления циркуляционных потоков. Использование схемы выделенных областей и районов по частотам опасных явлений погоды, а также прогнозов Росгидромета, в свою очередь, позволит существенно снизить величину экономического ущерба и избежать людских потерь.

## 9.2. Управленческие решения при возникновении опасных явлений погоды

Под *управлением риском* понимают процесс оптимального распределения затрат на снижение различных видов риска в условиях ограниченности экономических ресурсов общества, обеспечивающий достижение такого уровня безопасности населения и окружающей среды, какой только достижим в существующих в данном обществе экономических и социальных условиях [115]. Методическим аппаратом для реализации такого управления является системный анализ. В практической деятельности используются упрощенные варианты системного анализа, известные в научной литературе как метод эффективности затрат на снижение риска, метод «затраты — выгода» и метод оптимизации предельных затрат.

Задачу управления риском дополняют требованием о выполнении определенных ограничений, предъявляемых к воздействию на природную среду и обеспечивающих удаленность состояния экосистем и других природных ресурсов от точки их бифуркации. Это корректная постановка задачи управления риском катастроф, где управляющими параметрами являются величины затрат на снижение различных видов риска [116]. Решение этой задачи и должно дать ответ на вопрос о том, какой риск, обусловленный той или иной деятельностью, является чрезмерным, а какой — приемлемым.

В стратегии управления в чрезвычайных ситуациях [117] выделяются два этапа: ее разработка (формирование) и осуществление. На этапе разработки стратегии реализуется аналитико — прогностическая функция управления.

Она включает оценку риска возникновения чрезвычайной ситуации: определение его вероятных источников, установление степени их опасности, а также факторов риска для жизни и здоровья людей, в том числе потенциальных зон поражения, размеров ущерба и потерь. Кроме того, данная функция включает управление риском (табл. 20).

Таблица 20  
Этапы, фазы и функции стратегии управления [117]

| Этапы                 |                       | Фазы                                                                                       | Функции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Функциональный подход | Стратегический подход |                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Превентивный          | Разработка стратегии  | Оценка и управление риском                                                                 | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Информационное обеспечение процесса управления.</li> <li>2. Анализ информации с точки зрения оценки риска для здоровья людей, определение приоритетов источников и факторов риска.</li> <li>3. Прогнозирование потенциальной катастрофы и ее последствий.</li> <li>4. Разработка стратегических планов по минимизации риска возникновения катастрофы и ее последствий.</li> </ol> |
| Превентивный          | Отсутствие стратегии  | Уменьшение риска возникновения и ослабление последствий потенциально чрезвычайной ситуации | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Организационно-техническое обеспечение предотвращения катастрофы.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Превентивный          | Отсутствие стратегии  | Подготовка к чрезвычайной ситуации                                                         | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Разработка и корректировка оперативных (эвакуационных, спасательных) планов.</li> <li>2. Подготовка специальных кадров.</li> <li>3. Осуществление организационно-технических мероприятий по локализации потенциальной катастрофы.</li> </ol>                                                                                                                                      |
| Реагирования          |                       | Противодействие чрезвычайной ситуации (поражающим факторам)                                | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Локализация театра действия катастрофы.</li> <li>2. Эвакуация персонала и населения из опасной зоны.</li> <li>3. Оказание срочной помощи.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                              |
| Ликвидации            |                       | Ликвидация последствий                                                                     | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Устранение последствий.</li> <li>2. Осуществление ремонтных и восстановительных работ.</li> </ol>                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

### Принципы управления риском и обеспечение безопасного развития социальной системы [115]

Разработаны 4 основные принципа, которые должны рассматриваться взаимосвязанная система. Каждый из этих принципов управления в отдельности представляет собой необходимое условие для устойчивого развития.

*Первый принцип.* Стратегическая цель управления риском — стремление к повышению уровня благосостояния общества.

*Второй принцип.* Тактическая цель управления риском — увеличение среднестатистической ожидаемой продолжительности предстоящей жизни в обществе, в течение которого личность может вести полноценную жизнь в состоянии физического, душевного и социального благополучия (принцип оптимизации защиты).

*Третий принцип.* Политика в области управления риском будет эффективной и последовательной только в том случае, если в управление риском включен весь совокупный спектр существующих в обществе опасностей и вся информация о принимаемых решениях в этой области без каких-либо ограничений доступна самым широким слоям населения (принцип интегральной оценки опасностей).

*Четвертый принцип.* Политика в области управления риском, как обязательное условие, должна реализовываться в рамках строгих ограничений на воздействие на экосистемы, состоящих из требований о непревышении величин этих воздействий предельно допустимых экологических нагрузок на экосистемы (принцип устойчивости экосистем).

Сформулированная система управления рисками в обществе, основанная на четырех фундаментальных принципах, не может заменить отсутствие знаний в этой области, но помогает идентифицировать пробелы в информации. Ее использование необходимо и желательно, так как позволяет при принятии решений наиболее полно и наилучшим способом учесть имеющиеся в этой области количественные результаты.

В соответствии с «Положением о Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий» одной из основных функций МЧС России является разработка предложений по формированию основ государственной политики в области гражданской

обороны, предупреждения и ликвидации ЧС. Политика обеспечения безопасности населения и территорий в условиях возможного возникновения ЧС понимается как деятельность органов государственной власти государственного управления, в полномочия которых входит решение вопросов по защите населения и территорий от ЧС. В настоящее время эта деятельность осуществляется в двух направлениях – предупреждение и ликвидация ЧС.

Согласно существующей концепции государственной политики в области снижения риска чрезвычайных ситуаций политику по предупреждению ЧС предлагается детализировать по следующим направлениям:

1. Политика предупреждения ЧС, ориентированная на снижение от источников ЧС, включает следующие элементы:
  - идентификация и оценка рисков источников ЧС;
  - управление риском от источников ЧС с целью его снижения до низкого уровня, какой только достигим с учетом социальных и экономических возможностей;
  - создание систем мониторинга за источниками ЧС, включая долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные прогнозы реализации ЧС и оценку их последствий.
2. Политика предупреждения ЧС, ориентированная на смягчение последствия ЧС на людей и территорию, включающая следующие элементы:
  - планирование землепользования на территории размещения источников ЧС при строгом соблюдении требования: этот вид деятельности не должен носить какого-либо существенного повышения в уже существующий уровень риска (уровень остаточного риска от источника опасности);
  - разработка аварийных планов по оперативному реагированию и ликвидации последствий ЧС;
  - повышение уровня осведомленности населения о рисках ЧС и мерах по их снижению;
  - создание систем мониторинга и наблюдения за остаточным риском источников ЧС, включающих долгосрочные, среднесрочные, краткосрочные прогнозы реализации ЧС и оценку их последствий.

---

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опасные явления погоды, представляющие собой следствие разрешения атмосферной неустойчивости, были исследованы как случайный процесс с присущей ему стационарностью и эргодичностью.

В качестве итогов данной монографии можно выделить следующее:

**1. Атмосфера и ее воздействие на возникновение опасные явления погоды.** Неустойчивость земной атмосферы очевидна и обусловливается комплексом внешних и внутренних причин, таких как, например, малая ее плотность по сравнению с другими оболочками Земли, градиенты давления, возникающие из-за неоднородности подстилающей поверхности. Кроме того, большое значение имеют космические факторы, определяющие степень возмущенности или интенсивности атмосферной циркуляции. При этом попытки установления влияния солнечной активности на циркуляцию атмосферы позволили выявить, что характер годового хода повторяемости западной ее формы (*W*) контролируется геомагнитной активностью и асимметрией запятненности полушарий Солнца. О характере макропреобразований эпох атмосферной циркуляции имеются данные на ветви спада и роста векового цикла солнечной активности. Как известно, рост солнечной активности векового цикла обуславливает увеличение повторяемости меридиональных переносов в атмосферной циркуляции. Очевидно, что ее спад должен привести к аномальному развитию зональной циркуляции. В 11-летних циклах такой характер связи солнечной активности с атмосферной циркуляцией наблюдается только в нечетных циклах. Как показывают реальные наблюдения, даже на фоне средней солнечной активности возможны

отдельные весьма активные выбросы элементарных частиц высокой энергии, которые возмущают магнитосферу Земли в значительной степени, сопоставимой с периодами повышенного количества числе Вольфа. Установлено, что в числе последствий проникновения корпускулярных потоков солнечного происхождения, следующие:

- усиление интенсивности конденсации в тропосфере;
- увеличение завихренности в верхних ионизированных слоях атмосферы;
- воздействие электрического поля на воздух тропосферы и генерация добавочных ветровых полей;
- повышение скорости кристаллизации воды и, значит, интенсификация разрешения влажнонеустойчивости атмосферы в связи с воздействием магнитного поля.

Другими факторами, влияющими на атмосферную циркуляцию, являются геофизические или теллурические, имеющие земное происхождение и связаны с орбитальным и осевым движениями Земли. Последние обуславливают, в свою очередь, возникновение внутренних движений планеты. К которым, кроме прочих, относят движения полюса Земли. Возникающие при этом силы деформации, а именно, горизонтальная составляющая, могут усиливать или ослаблять центры действия атмосферы, тем самым изменяя циркуляцию атмосферы. Существенная роль геофизических факторов заключается в том, что они способствуют комплексному рассмотрению следствий вращательного момента Земли на атмосферу и океан.

Возмущения циркуляции атмосферы проявляются в виде активизации интенсивности Высотной Планетарной Фронтальной зоны (ВПФЗ), скоростей и, значит, степени «меандрирования» струйных течений, что, в свою очередь, влияет на интенсивность и повторяемость тех или иных вихревых образований (циклонов и антициклонов). При этом наблюдается смена ее нормальной (широтной) составляющей на меридиональную.

В этой связи опасные явления погоды являются своего рода последствиями развития упомянутого физического процесса, при этом прослеживается очевидная взаимосвязь между данными явлениями и меридиональной формой атмосферной циркуляции (южно-северный перенос).

Количественным показателем степени интенсивности циркуляции считаются индексы А. А. Каца, рассчитанные для равнинной территории юга России (квадрат со сторонами  $60 — 40^\circ$  с.ш. и  $30 — 50^\circ$  в.д.) и отраженные в индексах зонального и меридионального переноса (условные единицы измерения гПа/100 км). Согласно расчетам, в среднемноголетнем выражении (1948–1997 гг.) данной территории свойственно преобладание широтной циркуляции (западно-восточный перенос) с интенсивностью 0,87 гПа/100 км. Меридиональная циркуляция (северно-южный перенос), в свою очередь, не имеет определяющего значения, ее интенсивность не превышает 0,18 гПа/100 км.

Т. е., так называемый фоновый режим создает положительная широтная циркуляция и, в меньшей степени, отрицательная меридиональная, с небольшой интенсивностью при отсутствии возмущающих факторов.

Однако, например, в 1969 г. (наибольшее количество ОЯ за весь исследуемый период) преобладали отрицательная широтная (восточно-западная) и положительная меридиональная циркуляции (южно-северный перенос). Интенсивность восточно-западного переноса увеличилась почти в 2 раза и достигла  $-2,09$  гПа/100 км. Соответствующее возмущение атмосферы и нарушение ее нормальной циркуляции, возможно, было обусловлено увеличением солнечной активности в 1969 г. и, как следствие, с усилением потока элементарных частиц высокой энергии по направлению к Земле.

В рассмотренных отдельных случаях опасных явлений погоды с 1950 по 2000 гг. наиболее часто наблюдалась положительная меридиональная циркуляция при изменении интенсивности от 1,33 до 13,80 гПа/100 км. Отрицательная широтная, в свою очередь, отличалась меньшей повторяемостью, а ее интенсивность составила от  $-0,21$  до  $-0,96$  гПа/100 км соответственно.

Таким образом, возникновению таких ОЯ, как сильные ветры и дожди, град, шквалы и смерчи, гололед и изморозь, метели и пыльные бури, высокие и низкие температуры воздуха и атмосферная засуха способствуют отклонения от нормальной формы циркуляции, проявляющиеся в виде смены ее знака и увеличения интенсивности. При этом большинство явлений было обусловлено сочетанием основных циркуляционных форм; данное разнообразие, в частности, удалось зафиксировать для приземных горизонтальных и вертикаль-

ных вихрей (смерчей и шквалов). Однако, отдельные случаи, а именно: пыльные бури и высокие температуры воздуха, были вызваны только одной, определенной формой: положительной меридиональной и отрицательной широтной циркуляциями соответственно.

Кроме того, ОЯ наблюдались при увеличении значения общего индекса циркуляции (отношение меридионального к широтному индексу), особенно в случаях приземных вихрей. Для юга России, например, максимальные значения за исследуемое 50-летие составили 19,4 для случая смерча (1985 г.) и 9,8 в случае шквала (1963 г.).

Таким образом, наибольшие возмущения зонального поля и значительные амплитуды волн ВПФЗ вызывают усиление интенсивности аномальных форм циркуляции, что способствует появлению различных ОЯ, а в большей степени — горизонтальных (шквалов) и вертикальных (смерчей) вихрей.

Изучение тенденций изобарической поверхности (изобары проведены через 4 гПа) позволяют определить положения основных и сезонных центров действия атмосферы, а также их взаимодействие, и, вместе с тем, степень возмущенности поля соответственно. Последняя, в свою очередь, может быть использована как некоторый фактор, приводящий к тем или иным аномалиям погоды. Изучение расстановки максимумов и минимумов, а также особенностей полей, требует значительной площади изучаемой территории, поэтому в данном случае избрана Европейская территория России.

В результате анализа помесечных карт приземного давления по многолетним данным (1873–1997 гг.) были получены следующие выводы:

- от января к апрелю включительно наиболее активными являются Исландский минимум, отрог Азиатского максимума и собственно Азорский максимум, то есть именно взаимодействие данных центров действия формируют барическое поле в данный момент времени;
- от мая к сентябрю возрастает активность Азорского максимума, усиливаясь в июле, кроме того, в этот период возникает Средиземноморский минимум, причем между ними возникает взаимодействие, обостряясь в июле;
- в октябре—декабре незначительно активизируется отрог Арктического максимума, влияние которого по многолетним данным не столь велико;

- наибольшей активностью барическое приземное поле Европейской территории России во внутригодовом ходе отличается в ноябре—декабре, когда наиболее усилены градиенты, о чем свидетельствуют тенденции изобарической поверхности.

Анализ карт аномалий приземного давления для отдельных дат показал, что:

- метели возникали при взаимодействии отрогов Арктического или Азиатского антициклонов с Черноморской депрессией, либо в результате смещения циклонов;
- в случаях сильных дождей, града, смерчей, шквалов (то есть, конвективных явлений) преобладало малоградиентное барическое поле;
- сильные ветры обуславливались либо взаимодействием отрогов Азиатского антициклона и Черноморской депрессией, либо циклонической деятельностью;
- гололедно-изморозевые явления были связаны с циклонической деятельностью.

Таким образом, анализ карт изобарической поверхности позволяет чрезвычайно точно определить тип ситуации, характерной для того или иного явления.

Исследования интенсивности и повторяемости барических систем. На основании многолетних данных атмосферного давления (1873–1988 г.) были рассчитаны такие параметры, как повторяемость (%) и интенсивность (гПа) циклонов и антициклонов (в данном исследовании они приводятся для 50° с.ш. и 30° в.д.).

Согласно рассчитанным данным, в среднем на юге России преобладают антициклоны по повторяемости и по интенсивности. Только в мае незначительно превалировали циклоны (по повторяемости и интенсивности). Также в июне и июле по повторяемости преобладают циклоны.

**2. Результаты хронологических исследований рядов опасных явлений погоды.** Общая среднегодовая частота опасных явлений погоды за изучаемое 30-летие на равнинах юга ЕТР имеет тенденцию к уменьшению значений от 13,2 (1965 г.) до 2,7 случаев (1995 г.). Выявлены годы с максимальным количеством ОЯ: 1965, 1967, 1969, 1971, 1976, 1978, 1982, 1987, 1991–1993, 1995 гг., с минималь-

ными — 1967, 1968, 1970, 1972, 1974, 1975, 1976, 1979, 1981, 1983, 1985, 1986, 1988, 1989, 1990, 1992, 1994 гг. Средняя продолжительность максимальных периодов составила 3 года, минимальных — 2 года. Наибольшие значения частот случаев явлений за 30-летие были зарегистрированы в январе — 12,1, феврале — 8,8 и декабре — 7,9, наименьшие — в апреле, августе и октябре (1,3, 1,5 и 0,9 соответственно). Средняя величина составила 3,9 случаев. Таким образом, наиболее неблагоприятными с позиции возможности возникновения опасных явлений погоды в пределах равнин юга ЕТР являются зимние месяцы. Наибольшая среднемесячная частота случаев ОЯ наблюдалась на ст. Новоаннинский (4,2), Нижний Чир (3,5), Малые Дербеты (3,6), средняя величина составила 2,3. Максимальная среднегодовое количество явлений зарегистрировано на ст. Заветное (8,9) Морозовск (8,7), Новоаннинский (8,5), среднее значение составило 5,7. С точки зрения доли (%) конкретного ОЯ в общем количестве явлений наиболее существенными оказались общие и низовые метели (январь, февраль), изморозь (декабрь). Из общего числа рассмотренных ОЯ, наибольшее среднемесячное (за холодный период года) зафиксировано для общих и низовых метелей — 7,6, наименьшее (за теплый период) — для шквалов (0,5). Для годовых величин ОЯ необходимо отметить преобладание частот сильных ветров — 10,9 случаев. На уровне значимости оказались коэффициенты корреляции между общей частотой ОЯ и географической широтой (0,5), расстоянием до Черного моря (0,5), годовой амплитудой температур (0,5), средней температурой января (–0,5), индексом магнитной возмущенности (–0,6).

**3. Природное районирование территории юга России.** Для комплексного изучения пространственного изменения различных компонентов ландшафтов равнин юга ЕТР и Предкавказья было применено климатическое районирование. Поскольку количественные изменения климатических элементов приводят к качественным (изменения растительных сообществ), использовались данные физико-географического районирования. При этом основой последнего служили физико-географическое районирование СССР Н. А. Гвоздецкого (1968), а также климатическое районирование Б. П. Алисова (1974).

Одним из первых климатических районирований рассматриваемой территории было районирование И. В. Фигуровского (1919)

(«Климаты Кавказа»). В основу которого положены распределение среднегодовых амплитуд температур и осадков. Б. Ф. Добрынин (1948) согласно описанным типам климата выделял в пределах территории 14 климатических областей. Климатическое районирование С. А. Малика и А. А. Нагайцева (1959), основными критериями которого служили суммы температур более 10 °С и характеристики заморозков, предусматривало разделение территории на провинции, подпровинции, округа, районы. Н. С. Темникова (1959) выделила в пределах равнинной территории юга ЕТР 3 климатические области, используя следующие критерии: характер циркуляции в годовом цикле; соотношение радиационного баланса и суммы осадков (индекс сухости за год); соотношение различных компонентов водного баланса в годовом цикле: осадки = испарение + сток; ландшафтные зоны как наиболее общее отображение климатических условий.

Наиболее крупными принятыми таксономическими единицами данного районирования является физико-географическая страна Русская равнина, расположенная в пределах умеренного климатического пояса, континентальной области (согласно районированию Б. П. Алисова).

Следующие единицы, такие как зоны и районы, были получены, согласно использованию таких характеристик (определены по местным условиям), как: индекс сухости; коэффициент континентальности; годовая сумма испаряемости; годовая сумма осадков; средняя температура января и июля; годовая амплитуда температур воздуха; разность между испаряемостью и количеством осадков; наибольшая декадная высота снежного покрова; среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации величины Ис; повторяемости, продолжительность и интенсивность аномальных явлений погоды.

Первоначально вся территория изучения (102 метеорологических станции) была разделена на семь зон по характеру увлажнения (индекс сухости), поскольку этот критерий считается ведущим в связи с положением на юге умеренного пояса. Затем, в пределах каждой зоны были выделены районы (39) по сочетанию температур января и июля и годового количества осадков.

В соотнесении результатов представленного районирования с работами Н. А. Гвоздецкого и Б. П. Алисова с запада на восток территория изучения — равнины юга России — была разделена на следующие семь зон: атлантико-континентальные европейские степи

(зона неустойчивого увлажнения,  $I_{сc} \geq 1,6$ ; недостаточного увлажнения  $I_{сc} = 1,6-1,8$ ; слабо засушливая,  $I_{сc} = 1,8-2,0$ ) и сухие степи (засушливая,  $I_{сc} = 2,0-3,0$ ); континентальные восточноевропейские полупустыни (очень засушливая,  $I_{сc} = 3,0-4,0$ ) и пустыни (сухая,  $I_{сc} = 4,0-5,0$ ); континентальная северотуранская пустыня (очень сухая,  $I_{сc} \leq 5,0$ ). С севера на юг были выделены 39 районов: 1 — зона неустойчивого увлажнения содержит 3 района (4 метеостанции); 2 — зона недостаточного увлажнения — 2 района (5 метеостанций); 3 зона — слабо засушливая — 5 районов (14 метеостанций); 4 зона — засушливая — 9 районов (41 метеостанций); 5 зона — очень засушливая — 8 районов (16 метеостанций); 6 зона — сухая — 9 районов (17 метеостанций); 7 зона — очень сухая — 3 района (5 метеостанций).

В качестве дополнительной характеристики климата объекта исследований было проведено районирование на основании повторяемости опасных явлений погоды, являющихся также климатическими экстремумами. Кроме того, изучение пространственного распределения обобщенного числа случаев ОЯ, согласно построенной по методу интерполяции схемы, позволило выявить следующие закономерности:

- тенденция к повышению числа явлений наблюдается на востоке исследуемой территории, что подтверждает ведущую роль восточных потоков в возникновении опасных явлений погоды;
- в центре наблюдаются столкновения различных по физическим свойствам воздушных масс, которым способствуют особенности рельефа (возвышенности Ергени, Калачская), что также обуславливает значительные частоты ОЯ.

Отсюда, весьма значимой для генезиса ОЯ на юге России является циркуляция воздушных масс, барических систем, отдельных фронтов. Однако необходимо отметить благоприятствующее значение рельефа территории, создающего характерные условия проникновения воздушных масс (Кумо-Манычский ветровой коридор).

На первом этапе районирования по частотам опасных явлений погоды юга России определялось среднегодовое количество данных явлений, разделенных на генетические группы: сильные ветры, метели (общие и низовые), конвективные и (сильные дожди и ливни, шквалы, град), гололедно-изморозевые явления. Таким образом были выделены три области: I — с пониженным числом ОЯ; II — со средним; III — с повышенным. На втором этапе в пределах каждой

области были определены процентные вклады групп ОЯ. По этому признаку выделены районы (названия районов выбраны по названиям метеостанций): I — 1 — Вешенско-Яшкульский; I — 2 — Веселовско-Арзгирский; I — 3 — Комсомольский; II — 4 — Палласовско-Пролетарский; II — 5 — Зимовниковский; III — 6 — Новоаннинско-Заветнинский; III — 7 — Морозовский; III — 8 — Белоглинский; III — 9 — Черноярский; III — 10 — Эльтонский.

*Первая область* (с пониженной частотой опасных явлений погоды) охватывает запад и юго-восток изучаемой территории. В физико-географическом отношении характеризуется возвышенным и в достаточной мере расчлененным рельефом. На севере области в пределах юго-восточной окраины Воронежской антеклизы Русской платформы, расположены Калачская возвышенность, Донская гряда и Донецко-Донская равнина.

Область включает три района: Вешенско-Яшкульский; Веселовско-Арзгирский; Комсомольский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления (53 %), что, очевидно, в связи с большой расчлененностью рельефа. Кроме того, по сравнению с остальными областями увеличена доля конвективных явлений, что обусловлено развивающейся летней термической конвекцией.

*Вторая область* (со средней частотой опасных явлений погоды) расположена в центре изучаемой территории. В физико-географическом отношении характеризуется низменным, скорее вогнутым рельефом. В ее пределах расположены южная окраина Окско-Донской равнины, Нижнедонская и Манычская низменности и равнины Низкого Заволжья.

Область включает два района: Палласовско-Пролетарский; Зимовниковский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления (43 %) и метели (32 %), что, очевидно, в связи вогнутой формой рельефа.

*Третья область* (с повышенной частотой опасных явлений погоды) расположена между первой и второй областями. В физико-географическом отношении характеризуется разнообразными формами рельефом. Она включает южную часть Приволжской возвышенности, Северо-Приазовскую эрозионно-аккумулятивную наклонную равнину с Грушевским, Родионово-Несветайским и Новочеркасским

плато, Азово-Кубанскую низменность, с Доно-Егорлыкской аккумулятивной равниной, являющейся северным геоморфологическим районом Азово-Кубанской низменности, Западную часть обширной Прикаспийской низменности, Терско-Кумскую низменность с Прикумской полупустынной равниной (Ногайская степь) и Терско-Кумским песчаным массивом.

Область включает пять районов: Новоаннинско-Заветнинский; Морозовский; Белоглинский; Черноярский; Эльтонский.

Преобладающее значение имеют гололедно-изморозевые явления

(45 %), сильные ветры (27 %), метели (25 %), что, очевидно, в связи разнородностью форм рельефа.

Изучение выделенных при районировании областей и районов позволяет сделать следующие выводы:

1. первая область отличается весьма однородным возвышенным и расчлененным рельефом, поэтому доля гололедно-изморозевых явлений в ней достаточно велика;
2. вторая область характеризуется вогнутой формой рельефа, что создает оптимальные условия для метелей;
3. третья область с весьма разнородными физико-географическими условиями создает чрезвычайно благоприятные условия для протекания наиболее повторяющихся опасных явлений, а, именно, гололеда, изморози, сильных ветров, метелей.

Кроме того, конфигурация речной сети (речных долин) создает также дополнительные оптимальные условия для протекания ОЯ. Что подтверждает теоретический вывод о совместном взаимодействии основных климатообразующих факторов циркуляции атмосферы и подстилающей поверхности в направлении возникновения опасных явлений погоды.

**4. Квазипериодичность хронологических рядов опасных явлений погоды. Установление связности и марковости.** В природе распространены, очевидно, как относительно бессвязные, так и в известной степени закономерные колебания тех или иных гидрометеорологических величин. Возможность экстраполяции будущих значений существует даже при случайных колебаниях, носящих бессвязный характер. В этом случае могут экстраполироваться на будущее только средние показатели, а также уровень ряда, его диспер-

сия, повторяемость отдельных значений, при наличии их устойчивости. Причем, источниками этих колебаний могут быть как внешние (космические или геофизические) причины, так и внутренние, присущие непосредственно самому ряду. Элементарным связным апериодическим рядом является простая цепь Маркова, возможность констатации которой в случае рядов аномалий реализуется в данном исследовании. Стационарными процессами считаются те, у которых вероятностные характеристики связи во времени однородны. Эти процессы наиболее часто используют как приближение к ходу естественных природных явлений. Колебания, вызываемые этим типом связи, носят циклический характер. Однако, они в общем случае апериодичны, так как фаза и амплитуда циклов в процессе изменяются от цикла к циклу. Поскольку потенциально они могут включать всевозможные периоды, то характер процесса математически выражается в общем случае через интеграл Фурье.

Отсюда, в природной среде имеют распространение квазипериодические колебания, имеющие способность в течение длительного срока преобразовываться из периодических в апериодические и наоборот. В рамках данного исследования хронологические ряды аномальных явлений погоды рассматривались как некоторый случайный процесс, управляемый вероятностными законами. Предполагалось, что данный процесс является стационарным с присущим ему свойством эргодичности. Кроме того, колебания в рядах аномалий носят характер квазипериодических, источниками которых, безусловно, являются как космические и геофизические, так и внутренние, обусловленные стохастичностью атмосферы как части природной среды.

Критериями, позволяющими проверить, является ли ряд бесвязным, являются:

- вычисление коэффициентов корреляции между двумя несмежными членами ряда;
- построение автокорреляционной функции и ее анализ (на предмет экспоненциальности);
- вычисление критериев Аббе (теоретическая основа последних была разработана Вейнбергом (1929) и Омшанским (1936) .

Под критериями Аббе понимают вычисление трех групп показателей:

- подсчитывается число серий (любые изменения в ряде);
- определяют математическое ожидание, стандартное отклонение и нормирование отклонения числа серий от ожидаемого значения стандартной нормальной переменной:  $M_s$ ,  $\sigma_s$ ,  $t_s$ ;
- задается уровень значимости  $\beta$  (рассчитывают вероятность значения  $t_s$ ) и определяют  $1 - \beta$ ;
- анализируют неравенство  $t_s \leq t\beta$ ; если последнее выражение не соблюдается, то ряд не случаен (по данному критерию).

Проверка гипотезы о неслучайности колебаний внутри ряда ОЯ показала, что по первому и второму критериям все рассмотренные опасные явления не относятся к случайным, значит, некоторая взаимосвязь между элементами существует. Определенную зависимость для повторов серий положительных отклонений от среднего удалось обнаружить для большинства опасных явлений, а именно, в случаях града, шквалов, гололеда, изморози, сильных ветров, смерчей, аномалий температуры (высокие температуры) и пыльных бурь. На основании представленных результатов можно констатировать, что данные опасные явления погоды могут иметь связность между элементами по типу *красного шума*.

Последнее предполагает возможность экстраполировать значения будущих повторяемостей ОЯ. Отсюда, по уравнениям линейной регрессии были подсчитаны прогнозируемые значения (на ближайшее 5-летие) для годовых частот данных явлений. А именно:

- для общих метелей предполагаемая частота не менее 6 случаев в год на ст. Сосыка, Веселый, Арзгир, Обливская, Зимовники, Пролетарск, Юста;
- для низовых метелей — не менее 6 случаев на ст. Зимовники, Пролетарск, Веселый;
- для сильных ветров — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Новоаннинская, Юста, Каневская, Обливская;
- для сильных дождей и ливней — не менее 1 случая на ст. Тимашевск, Сосыка, Белая Глина, Каневская, Зимовники, Пролетарск, Веселый, Морозовск, Арзгир, Палласовка, Эльтон;
- для шквалов — не менее 0,5 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Обливская, Зимовники, Нижний Чир, Веселый, Палласовка, Черный Яр, Эльтон, Малые Дербеты;

- для града не менее 0,4 случаев на ст. Каневская, Вешенская, Ольховка, Эльтон, Черный Яр, Юста, Комсомольский;
- для гололеда — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Вешенская, Белая Глина, Каневская, Ольховка, Морозовск, Зимовники, Веселый, Палласовка, Эльтон, Малые Дербеты, Арзгир, Черный Яр, Юста;
- для изморози — не менее 8 случаев на ст. Тимашевск, Сосыка, Вешенская, Ольховка, Обливская, Морозовск, Веселый, Эльтон, Арзгир, Черный Яр, Юста, Яшкуль, Комсомольский.

Анализ графиков скользящего осреднения, с указанными линиями трендов, позволяет сделать следующие выводы:

- большее количество опасных явлений имеют тенденцию к убыванию значений частот, среди них наиболее существенно она проявляется для общих и низовых метелей, а также для сильных ветров;
- незначительное снижение предсказанных величин можно отметить для сильных ливней и дождей, града и гололеда;
- почти на том же уровне останутся для ближайших 5 лет количества шквалов и изморози.

**5. Результаты апробации методов математического вероятностного прогнозирования будущих значений опасных явлений погоды.** Для реализации методов прогнозирования на первом этапе была создана базы данных на основе метеорологических ежемесячников и ежегодников Росгидромета. Выборка ОЯ производилась с учетом критериев, принятых в Северо-Кавказском территориальном Управлении Гидрометслужбы, а также исходя из утвержденных Руководящих Документов (РД № 52.04.563-2002). При этом временной интервал охватывал в среднем 50 лет (данные с 1950 по 2000 гг.). Были отобраны репрезентативные метеорологические станции с непрерывными рядами наблюдений, расположенные на равнинных территориях Ростовской, Волгоградской, Астраханской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, а также в Калмыкии.

Первоначально база данных содержала таблицы ОЯ, содержащие даты их возникновения, продолжительность (начало—окончание), интенсивность, а также географический район (станция, пост, пункт наблюдения). Кроме того, имелась информация о сопутствующих им явлениях, о синоптической обстановке в момент их возник-

новения. В дальнейшем, первичная информация была обработана и сформирована вторичная база данных, представляющая собой хронологические числовые ряды ОЯ.

Для определения условий, наиболее вероятных для возникновения искомых явлений, применялся метод Байеса с последующей его оценкой методом минимакса. Причем, процедура реализации задачи — принятия решения о нахождении атмосферы в неустойчивом состоянии с опасными явлениями погоды — состоит в том, что объект с комплексными признаками относят к указанному состоянию, если апостериорная вероятность этого состояния максимальна. В настоящее время указанная методика была применена впервые для исследования конвективных, бароградиентных и температурных явлений для территории юга России. Преимуществом ее является то, что она позволяет с достаточно высокой степенью достоверности оценить условную вероятность наступления опасных явлений погоды при наблюдающихся отдельных метеорологических и геофизических условиях. В результате расчетов удалось выявить комплекс геофизических и метеорологических условий, наиболее вероятно приводящих к риску возникновения ОЯ. Это следующий набор:

- средняя активность магнитосферы;
- повышенные скорости геострофического ветра на высоте 10 км;
- высокая интенсивность атмосферной циркуляции, а, именно, повышенная интенсивность антициклональной циркуляции.

Так же были установлены следующие тенденции взаимосвязи между активностью магнитного поля Земли и ОЯ:

1. Между моментами сильных магнитных бурь и опасных явлений погоды существует, скорее, обратная зависимость.
2. Средне- или слабозмущенное магнитное поле при повышенной интенсивности циклонической циркуляции в наибольшей мере способствовало возникновению искомых событий.
3. Выявлен так называемый временной фактор или момент запаздывания пиков активности магнитосферы и ОЯ, а именно, явления наблюдались спустя 20 дней после наступления магнитной бури.

Метод минимакса — минимизации ошибок при диагностике неустойчивости атмосферы — позволил определить сочетания диагностических параметров, при которых эта ошибка минимальна.

Так, например, для отдельных лет XX века интенсивность антициклональной циркуляции не менее 0,3 (гПа/100 км) при вертикальной  $-2,1$  (м/с) и горизонтальной составляющих 0,5 (м/с) скоростей геострофического ветра в большинстве случаев приводили к погодным ОЯ. С другой стороны, магнитная активность Земли не менее 2,3 баллов, вертикальная  $-1,7$  (м/с) и горизонтальная  $-0,3$  (м/с) составляющие скорости геострофического ветра также способствуют возникновению ОЯ.

Анализ и обобщение полученных результатов апробации метода минимакса позволили установить, что ошибки при диагностике неустойчивого состояния атмосферы минимальны при следующем сочетании диагностируемых параметров:

- антициклональная циркуляция при небольшой интенсивности;
- слабовозмущенное магнитное поле Земли;
- средние скорости геострофического ветра на высоте 10 км при преобладании отрицательных знаков векторов как вертикального, так и горизонтального переносов.

С другой стороны, для анализа метеоситуации с позиции возникновения опасных явлений погоды и последующего расчета их рисков или их вероятностей, применялись построенные нейросети — *сети Кохонена*, отличающиеся способностью к самообучению, интуитивному анализу информации, возможностью модификации и подбору входящих численных параметров. *Сети Кохонена* представляют собой многомерную решетку, с каждым узлом которой ассоциирован весовой вектор (набор из  $k$  весов нейрона) в разрезе. В данном случае работа нейрона (элементарного компонента сети) складывается из анализа заданных метеопараметров: температура воздуха (в градусах Кельвина), облачность (%), количество осадков (слой воды в мм), векторные составляющие скорости геострофического ветра (м/с), атмосферное приземное давление (в гПа). При этом важным свойством данных нейросетей является не только возможность ассоциативного изучения, но и распознавание ситуаций и, в частности, нестандартных. Именно это свойство оказалось весьма приемлемым для реализации задачи анализа, исследования и определения рисков погодных ОЯ.

Кроме того, множества входных данных, используемых для работы сети, могут быть детерминированными или стохастическими (с определенной долей шумов и различными комбинациями или со-

четанием усеченных законов распределения). В свою очередь, опасным явлениям погоды, во временных рядах которых присутствует шумовая составляющая, в большей степени характерны дискретные усеченные комбинированные законы распределения.

Наконец, точность выходных данных определяется и зависит от набора входных параметров, а также от возможности глобального изменения анализируемой ситуации. В рамках данной задачи — определения климатических рисков — результат предполагает достаточный комплекс вводимых параметров (в пределах шестимерного пространства), по крайней мере, во временном отношении (50-летний период).

Для реализации задачи была создана отдельная база данных в виде нормального (без ОЯ) числового поля, ограниченного квадратом со сторонами  $60-40^\circ$  с.ш.,  $40-60^\circ$  в.д. В ее состав входили ежедневные метеорологические данные, включающие следующие параметры: облачность, количество осадков, атмосферное давление, температура воздуха, составляющие геострофического ветра (архив *NCP/NCAR* с 1948 по 2000 гг.). Также на основе данных об ОЯ была получена вторая база метеорологической ситуации для дат опасных явлений погоды. При этом, под рисками или вероятностями\* прогнозируемых ОЯ, исходя из данных условий, считалось отношение концентрации нейронов в окрестности исследуемой точки к максимальной концентрации нейронов в пространстве задачи.

Работа и настройка сети заключалась в том, что начальные значения координат нейронов выбираются случайно. Затем производилось нормирование вектора координат нейронов. Определялся нейрон-победитель. Для каждого аномального явления производилась коррекция векторов координат всех нейронов. Коррекция вектора координат производилась с помощью кусочно-аналитической функции. Обучение сети осуществляется в два этапа. Во время первого этапа окрестность нейрона-победителя достаточно велика, а функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя не равна нулю. Во время второго этапа окрестность нейрона-победителя близка к нулю, функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя равна нулю.

После обучения нейросети, максимальная концентрация нейронов в пространстве принимается за единицу.

В результате работы предлагаемой нейросети получены вероятности возникновения ряда погодных аномалий, при диапазоне их значений от 0 до 0,96.

Анализ различных сочетаний метеоэлементов, в большинстве случаев приводивших к тем или иным ОЯ, позволил, на основании типизации, выявить ситуацию, соответствующую появлению конвективных, барогradientных и температурных опасных явлений погоды юга России. В качестве примера можно привести некоторые их значения: атмосферное давление 1009–1027 гПа; вертикальные и горизонтальные составляющие скорости геострофического ветра на высотах 10 км:  $-3,87 + 5,12$  м/с; температура воздуха 272,9–290,5 К; количество осадков от 0 до 0,0001 мм; облачность 41,4–78,7%. То есть, такие сочетания свидетельствует о преобладающей роли антициклональной циркуляции в возникновении аномалий погоды в пределах объекта исследования. Это, по крайней мере, подтверждается и повышенным фоном давления, и малым количеством осадков, и незначительным облачным покровом (данные 40–80% могут быть, например, остаточной фронтальной облачностью).

Для заданного района с известными географическими координатами возможно определить наиболее вероятные значения метеорологических элементов для прогнозирования опасных явлений погоды. В данном случае приведены примеры для точки с координатами 50° с.ш.–50° в.д., однако получены в настоящее время величины для квадрата 60–40° с.ш. и 40–60° в.д.

Кроме того, рассмотрение вклада каждого в отдельности метеопараметра позволило выявить роль составляющих геострофического потока на высотах 10 км, значения и знаки векторов которых изменялись в случаях возникновения или отсутствия ОЯ.

При этом в пределах 50-х широт было установлено, что:

- восточная составляющая (отрицательный знак вектора скорости) зонального геострофического переноса ( $U$ , м/с) характерна для случаев барогradientных и температурных ОЯ, а конвективные явления, в свою очередь, наблюдались при западном потоке;
- южная составляющая (положительный знак) меридионального геострофического переноса ( $V$ , м/с) преобладала в случаях конвективных и температурных явлений, барогradientные аномалии были обусловлены северным потоком.

**6. Системный подход к управлению рисками погодных аномалий юга России.** В связи с повышенной частотой опасных явлений погоды на юге России при планировании хозяйственного освоения территории, а именно, при строительстве жилых и нежилых объектов, необходимо учитывать так называемые метеорологические нагрузки, носящие долговременный характер. В результате применения существующих методик расчетов нагрузок были получены следующие выводы:

*1. Снеговая нагрузка.*

Полное нормативное значение веса снеговой нагрузки на горизонтальную проекцию покрытия для юга России составляет 50–70 кг · с/м<sup>2</sup>.

*2. Ветровая нагрузка.*

Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м изменяется от –30,7 до –25,2 кг · с/м<sup>2</sup>.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м равна –30,1 — –24,7 кг · с/м<sup>2</sup>.

*3. Гололедная нагрузка.*

Нормативное значение линейной гололедной нагрузки для элементов кругового сечения диаметром до 70 мм изменяется от 3,9 до 21,1 Н/м.

*4. Температурные климатические воздействия.*

Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента соответственно в теплое и холодное время года отличались весьма неблагоприятными значениями на востоке: ст. Верхний Баскунчак, для теплого времени года +44,9 °С; для холодного времени года –55,5 °С. Более мягкие условия отмечены на юге объекта исследований — ст. Сочи: для теплого времени года +30,52 °С; для холодного времени года –22,1 °С.

Исходя из вышеперечисленных результатов расчетов, а также проведенных работ по площадному осреднению, можно предложить следующие рекомендации по народно-хозяйственному использованию объекта исследований:

1. Во всех областях и районах (районирование по частотам опасных явлений погоды) повышена ветровая нагрузка, доля силь-

- ных ветров составляет не менее 20 % (от всего количества опасных явлений). В связи с этим рекомендуется сооружения и строительные объекты размещать в соответствии с преобладающими направлениями ветра, избегать строительства высотных сооружений. Для сельского хозяйства необходимым является закладка защитных лесополос, лесопарковое строительство.
2. В первой области, отличающейся повышенной долей гололедно-изморозевых явлений, необходимо учитывать вероятность гололедно-изморозевых нагрузок, особенно для существующих и проектируемых линий электропередач, транспорта.
  3. Во второй области с повышенной частотой метелей следует учитывать повышение снеговой нагрузки, в особенности, для транспортных магистралей, существующих и проектируемых, а также для линий электропередач.

Отсюда, при проектировании новых народно-хозяйственных объектов необходимо учитывать физико-географические особенности территории, а также направления циркуляционных потоков. Использование схемы выделенных областей и районов по частотам опасных явлений погоды, а также прогнозов Росгидромета, в свою очередь, позволит существенно снизить величину экономического ущерба и избежать людских потерь.

Системный подход основывается на анализе и прогнозировании характеристик системы на определенный момент времени. Возможность его применения в данном исследовании обуславливается пониманием атмосферы как весьма крупной системы, состоящей из множества частей и элементов, выполняющих определенные функции.

Только в рамках системного подхода возможна постановка важной проблемы снижения риска от тех или иных видов опасности, воздействию которых могут быть подвержены человек и окружающая его среда в рассматриваемой системе. Наконец, только такой подход позволяет учесть интересы и будущих поколений.

Под *управлением риском* понимают процесс оптимального распределения затрат на снижение различных видов риска в объективных условиях современного экономического уровня развития общества. Методическим аппаратом для реализации такого управления является системный анализ. В практической деятельности используются упрощенные варианты системного анализа, известные в науч-

ной литературе как метод эффективности затрат на снижение риска, метод «затраты — выгода» и метод оптимизации предельных затрат.

В данном случае, при прогнозировании рисков опасных явлений погоды задача управления их рисками представляет собой необходимость коррекции настоящего экономического развития с учетом вероятностей аномалий и затрат на ликвидацию последствий их возникновения. Или, вообще говоря, целесообразности развития той или иной экономической деятельности в связи со спецификой возникающих развивающихся в данном районе аномалий погоды. Откуда для данной задачи управления рисками определяющими параметрами являются величины затрат на снижение различных видов риска. Решение этой задачи и должно дать ответ на вопрос о том, при каком виде деятельности риск, обусловленный теми или иными аномалиями, является чрезмерным, а какой — приемлемым. В свою очередь, научно-методические основы прогнозирования аномальных явлений для юга России на основе методов математического моделирования и математической статистики позволят реализовать данную задачу на современном научном уровне.

---

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Чайковский Ю. В.* О природе случайности. Вып 27 «Ценологические исследования», М.: Центр системных исследований. Институт Естествознания и техники РАН, 2004. 280 с.
2. *Шноль С. Э., Коломбет В. А., Пожарский Э. В., Зенченко Т. А., Зверева И. М., Конрадов А. А.* О реализации дискретных состояний в ходе флуктуаций в макроскопических процессах // УФН. 1998. № 10. С. 15 — 23.
3. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. III. Вып. 2. Л.: Гидрометиздат. 1965. 492 с.
4. Опасные гидрометеорологические явления Крыма / Под ред. К. Т. Логвинова, М. Б. Барабаш. Л.: Гидрометиздат, 1982. 318 с.
5. Опасные явления погоды в Казахстане / Под ред. Л. П. Тулиной. М.: Гидрометиздат, Моск. отд-ние, 1978. 153 с.
6. Опасные явления погоды на территории Сибири и Урала / Под ред. С. Д. Кошинского, А. Д. Дробышева. 5 ч. Л.: Гидрометиздат, 1979. 243 с.
7. Опасные гидрометеорологические явления на Кавказе / Под ред. Г. Г. Сванидзе, Я. А. Цуцукридзе. Л.: Гидрометиздат, 1980. 264 с.
8. *Логвинов К. Т., Бабиченко В. Н., Кулаковская М. Ю.* Опасные гидрометеорологические явления погоды на Украине. Л.: Гидрометиздат, 1972. 236 с.
9. *Логвинов К. Т., Раевский А. И., Айзенберг М. М.* Опасные гидрометеорологические явления в Карпатах. Л.: Гидрометиздат, 1973. 197 с.
10. Критерии и характеристики экстремальных климатических явлений / Под ред. В. Ф. Логинова, Б. И. Сазонова. Л.: Гидрометиздат, 1986. 192 с.
11. *Литвинов И. В.* Структура атмосферных осадков. Л.: Гидрометиздат, 1974. 139 с.
12. *Григорьев А. А., Кондратьев К. Я.* Экодинамика и геополитика. Том II. Экологические катастрофы. Спб., 2001. 687 с.
13. Архивные материалы по ОЯ и метеорологические ежегодники. Журналы ТМ-1 за 1965–2000 гг.
14. *Дроздов О. А., Григорьева А. С.* Циклическая структура временного поля осадков и использование ее для прогноза. Обнинск, 1974. 40 с.

15. Значительные и обильные осадки на территории Северного Кавказа, Нижнего Дона и Нижней Волги / Под ред. Т. Е. Иванченко, Ростов-на-Дону, книж. изд-во, 1973. 38 с.
16. Значительные осадки теплого полугодия и вопросы методики их прогноза / Под ред. И. А. Петриченко. Л.: Гидрометиздат, 1972. 87 с.
17. Ревич В. А. Операция «Град». Л.: Гидрометиздат, 1972. 98 с.
18. Мучник В. М. Физика гроз. Л.: Гидрометиздат, 1974. 356 с.
19. Орлова Е. М. Расчет количества и продолжительности обложных и ливневых осадков // Методические указания под ред. И. А. Петриченко. М.: «Наука», 1979. 31 с.
20. Сулаквелидзе Г. К. Ливневые осадки и град. Л.: Гидрометиздат, 1967. 412 с.
21. Сулаквелидзе Г. К. и др. Прогноз града, гроз и ливневых осадков. Л.: Гидрометиздат, 1970. 183 с.
22. Шипкин Н. С. Облака, осадки и грозовое электричество / 2-е перер. и дополн. изд-ние. Л.: Гидрометиздат, 1964. 401 с.
23. Анализ и краткосрочный прогноз ветра, осадков и других метеорологических элементов / Под ред. Е. П. Веселова, Н. С. Вельтищевой. Л.: Гидрометиздат, 1985. 106 с.
24. Батлева Т. Ф., Минина Л. С. Тайфуны, ураганы 1966 г. // Природа. 1967. № 12. С. 64.
25. Борисенко М. М. Об исследованиях максимальных порывов ветра в нижних слоях атмосферы. Обзор. Обнинск: информационный центр, 1973. 30 с.
26. Водолазская В. А. Синоптические условия сильных ветров в Ростовской области // Рукопись, архив СКГМЦ, 1957. 58 с.
27. Дрюбюк А. Ф. Бури и смерчи // Природа. 1957. № 7. С. 8.
28. Заварина М. В. Расчетные скорости ветра на высотах нижнего слоя атмосферы. Л.: Гидрометиздат, 1971. 163 с.
29. Заревская А. В., Воробьева А. И., Нечаев В. К. Технический отчет о сильном шторме на Северном Кавказе и катастрофическом нагоне у юго-восточного побережья Азовского моря 28–29 октября 1969 // Рукопись, архив СКГМЦ, 1969. 95 с.
30. Записки Императорского Русского географического общества по общей географии / Под ред. И. К. Надеина, В. В. Шипчинского, Ю. М. Шокальского. Том XLVII, СПб.: Типография М. Д. Ломковского, 1911. 243 с.
31. Кудрявцева Е. П. Шквалы Ростовской области в 1967 г. / Рукопись, архив СКГМЦ, 1967. 67 с.
32. Колобков Н. В. Грозы и шквалы. М.; Л.: Гос. изд. техн.-теоретич. лит-ры, 1951. 356 с.
33. Лейст Э. Н. Московский ураган // Ежемесячный метеорологический бюллетень ГГО. 1904. № 12. 36 с.
34. Малик С. А. Шквалы Ростовской области и Краснодарского края // Метеорология и гидрология. 1940. № 9. 13 с.

35. *Мастерских М. А.* О расчете порывов ветра при развитии внутримассовых кучево-дождевых облаков // Труды ГМЦ РФ. Вып. 321. СПб.: Гидрометиздат, 1992. 71 с.
36. *Михельсон В. И.* Ураган в Москве 16 (29) июня 1904 г. // Ежемесячный метеорологический бюллетень ГГО. 1904. № 12. 12 с.
37. *Наливкин Д. В.* Ураганы, бури и смерчи. Географические особенности и геологическая деятельность. Л.: «Наука», Ленинградское отделение, 1969. 487 с.
38. *Наливкин Д. В.* Смерчи. М.: «Наука», 1984. 111 с.
39. *Паршина Н. К.* Сильные ветры Северного Кавказа и прилежащих к нему степей // Автореферат канд. дис., Ростов-на-Дону, 1974. 13 с.
40. *Песков Б. Е., Снитковский А. И.* К прогнозу сильных шквалов // Метеорология и гидрология. 1968. № 7. С. 52–57.
41. *Песков Б. Е., Хохлов Т. В.* Сильные шквалы в Верхнем Поволжье и некоторые рекомендации к их прогнозу // Труды ГМЦ РФ. Вып. 326. СПб.: Гидрометиздат, 1993. С. 23–45.
42. *Подрезов О. А.* Опасные скорости ветра и гололедных отложений в горных районах. Л.: Гидрометиздат, 1990. 223 с.
43. *Попов Н. И.* Смерчи на побережье Черного моря // Метеорология и гидрология. 1955. № 5. С. 41–43.
44. *Семенов И.* Северо-восточные бури Черного и Азовского морей // Записки Императорской Академии наук. Том XIX. № 5. СПб.: Тип. М. Д. Ломковского, 1906. 69 с.
45. *Снитковский А. И.* Прогноз сильных ветров // Метеорология и гидрология. 1970. № 9. С. 18–23.
46. *Тирон З. М.* Ураганы. Л.: Гидрометиздат, 1964. 237 с.
47. *Драневич Е. П.* Гололед и изморозь. Л.: Гидрометиздат, 1971. 221 с.
48. *Чаньшьева С. Г., Айзениат Б. А., Абдумаликов Т. И.* и др. Опасные гидрометеорологические явления в Средней Азии. Л.: Гидрометиздат, 1977. 336 с.
49. Анализ и прогноз опасных явлений погоды / Под ред. Е. П. Веселова. Л.: Гидрометиздат, 1974. 15 с.
50. Анализ и прогноз явлений и элементов погоды / Под ред. А. И. Снитковского, М. Г. Найшуллера. Л.: Гидрометиздат, 1985. 120 с.
51. Анализ и прогноз опасных явлений погоды и некоторые вопросы синоптической метеорологии / Под ред. Н. И. Давыдова, А. И. Снитковского. Л.: Гидрометиздат, 1977. 103 с.
52. Анализ и краткосрочный прогноз опасных явлений и некоторых элементов погоды / Под ред. Н. С. Вельтищевой. Л.: Гидрометиздат, 1980. 125 с.
53. Анализ и прогноз особоопасных явлений погоды / Под ред. А. И. Снитковского. Л.: Гидрометиздат, 1979. 129 с.
54. Анализ и краткосрочный прогноз метеорологических элементов и опасных явлений погоды / Под ред. Н. Г. Монова. Л.: Гидрометиздат, 1987. 112 с.

55. Анализ и краткосрочный прогноз метеорологических элементов и явлений погоды / Под ред. С. Ф. Чуприна, А. А. Акулиничевой. Л.: Гидрометиздат, 1989. 176 с.
56. Анализ и прогноз метеорологических элементов и опасных явлений погоды на 1–3 дня. Анализ и прогноз погоды для авиации / Под ред. Е. П. Веселова, Н. П. Шакиной. СПб.: Гидрометиздат, 1992. 144 с.
57. Байдал М. Х., Неушкин А. И., Глуховец Л. М. Глобальные параметры атмосферной циркуляции и их роль в формировании аномальных условий погоды над территорией СССР // Труды Всесоюзного научно-исследовательского института гидрометеорологической информации Мирового центра данных. 1982. Вып. 86. 128 с.
58. Вовченко П. Г. Погода. Земля. Человек. Ростов-на-Дону: Книж. изд-во, 1980. 141 с.
59. Гачок В. П. Странные аттракторы в биосистемах. Киев, 1989. 43 с.
60. Дымников В. П., Филатов А. Н. Устойчивость крупномасштабных атмосферных процессов. Л.: Гидрометиздат, 1990. 236 с.
61. Живетин В. Б. Введение в анализ риска. Казань, 1999. 320 с.
62. Жуковский В. И., Жуковская Л. В. Риск в многокритериальных и конфликтных системах при неопределенности. М.: Едиториал УРСС, 2004. 272 с.
63. Малинецкий Г. Г. Теория риска и безопасности с точки зрения нелинейной динамики и системного анализа / Институт Прикладной математики РАН. М.: 1998. 27 с.
64. Еселевич В. Г. Физические основы прогнозирования возмущений в околоземной среде по характеристикам Солнца // Солнечно-земная физика. Вып. 2, 2002. С. 57–60.
65. Ишков В. Н. Солнечные геоэффективные явления: как и когда они воздействуют на околоземное космическое пространство // Солнечно-земная физика. Вып. 2, 2002. С. 10–12.
66. Казанцев Е. В. О применимости индексов неустойчивости квазистационарных режимов атмосферной циркуляции к описанию низкочастотной изменчивости атмосферы. М.: 1990. 27 с.
67. Каталог индексов солнечной и геомагнитной активности. Обнинск.: ВНИИГМИ—МЦД, 1976. 203 с.
68. Файнштейн В. Г., Руденко Г. В., Граблевский С. В. Исследование рождений корональных дыр // Солнечно-земная физика. Вып. 1. Изд-во СО РАН, Сб. науч. трудов, 2002. С. 91–98.
69. Петерова Н. Г., Шпитальная А. А., Арсеньева М. А., Краевев В. Н. Солнечная активность и циркуляция земной атмосферы // Солнечно-земная физика. Вып. 2, 2002. С. 269–270.
70. Сазонов Б. И. Высотные барические образования и солнечная активность. Л.: Гидрометиздат, 1964. 131 с.
71. Русин И. Н. Стихийные бедствия и возможности их прогноза. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2003. 140 с.

72. Чихачев А. С., Чихачев А. А. Новая закономерность циркуляции атмосферы. Вып. 1. СПб.: «Недра», 2003. 108 с.
73. Кондратович К. В. Долгосрочные гидрометеорологические прогнозы в Северной Атлантике. Ленинград.: «Гидрометиздат», 1977. 183 с.
74. Блюмина Л. Н. Анализ повторяемости некоторых синоптических процессов. Л.: Гидрометиздат, 1954. 106 с.
75. Вопросы динамико-статистических прогнозов и спектрального анализа временных рядов / Под ред. Ю. М. Алехина. Л.: ЛГМИ, 1975. 156 с.
76. Заславский Л. М. Стохастичность динамических систем. М.: 1984. 132 с.
77. Иванов В. Х. Способы расчета и прогноза основных метеорологических характеристик и явлений погоды. М.: Изд-во МГУ, 1978. 364 с.
78. Кобышева Н. В., Наровлянский Г. Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометиздат, 1978. 295 с.
79. Комаров В. С., Попов Ю. Б., Суворов С. С., Кураков В. А. Динамико-стохастические методы и их применение в прикладной метеорологии. Томск.: Изд-во ИОА СО РАН, 2004. 235 с.
80. Статистические методы в метеорологии / Под ред. Л. Н. Романова. М.: Гидрометиздат, Моск. отд-ние, 1981. 108 с.
81. Чавро А. И., Дымиников В. П. Методы математической статистики в задачах физики атмосферы. М.: ИВМ, 2000. 210 с.
82. Вагер Б. Г., Серков Н. К. Конечные цепи Маркова в метеорологии и гидрологии. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета, 1996. 110 с.
83. Карманов А. В. Исследование управляемых конечных марковских цепей с неполной информацией. Минимаксный метод. М.: Физматлит, 2002. 173 с.
84. Рожков В. А. Теория вероятностей случайных событий, величин и функций с гидрометеорологическими примерами. Книга 1. Санкт-Петербург: Прогресс-Погода, 1996. 155 с.
85. Tsantas N., Vassilion P. The non-homogeneous Markov system in a stochastic environment // J. Appl. Probab. 1993. 30. № 2. 285. 301.
86. Di Masi G. Stettner L. On adaptive control of a partially observed Markov chain // Appl. Math. / 1994.22. № 2. 165. 180.
87. Stettner Lukasz. Ergodic control of Markov processes with mixed observation structure // Diss. Math. 1995. № 341. P. 1–36.
88. Казанцев Ю. В. Теория атмосферных вихрей и ее применение для задач прогноза. Л.: Гидрометиздат, 1988. 116 с.
89. Казанцев Ю. В., Ломакин А. Ф. Атмосфера и океан как геосферы. Владивосток.: «Наука», 2002. 219 с.
90. Назаретов В. М. Моделирование процессов управления риском // Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях. II Международная конференция, Москва, 1994. Сб. докладов. С. 7–8.
91. Малинецкий Г. Г., Подлазов А. В. Парадигма самоогранизованной критичности. Иерархия моделей и пределы предсказуемости. Прикладная нелинейная динамика // Известия Вузов. Т. 5. № 5. 1997. С. 89–106.

92. *Хованов Н. В.* Математические модели риска и неопределенности. Изд-во СПбГУ, 1998. 200 с.
93. *Хренников А. Ю.* Неколмогоровские теории вероятностей и квантовая физика. М.: Физматлит, 2003. 134 с.
94. *Конрадов А. А.* О реализации дискретных состояний в ходе флуктуации в макроскопических процессах // УФН. 1998. № 10. С. 15–23.
95. *Шредер М.* Фракталы, хаос, степенные законы. М.: Ижевск, 2001. 67 с.
96. *Бакиров М. Б., Кудрявцев Е. М., Сарычев Л. А., Тутнов И. А.* Применение статистических методов распознавания и принятия решений при диагностике оборудования ЯЭУ. М.: РАДЭКОН, 2003. 32 с.
97. *Скурихин А. Н.* Нейронные сети: определения, концепции, применения (обзор). М.: ЦНИИАтоминформ, 1991. 53 с.
98. *Уоссермен Ф.* Нейрокомпьютерная техника. Теория и практика. М.: Мир, 1992. 236 с.
99. *Чернавский Д. С., Намиот В. А.* Явление неустойчивости и проблемы логики. М.: 2002. 14 с.
100. *Welstead, Stephen T.* Neural network and fuzzy logic applications in C/C\$\*\*. John Wiley&Sons. Inc. 1994. New York etc.
101. *Гордиенко Е. К., Лукьяница А. А.* Искусственные нейронные сети. Основные определения и модели. Известия РАН. Сер. «Техническая кибернетика». 1994. № 5. С. 79–92.
102. *Сафронов И. Н.* Геоморфология Северного Кавказа и Нижнего Дона. Ростов-на-Дону.: Кн. изд-во, 1987. 104 с.
103. *Молодкин П. Ф.* Равнины Нижнего Дона. Ростов-на-Дону, 1980. 140 с.
104. *Блютген И.* География климатов. Том 1. М.: Изд-во «Прогресс», 1972. 428 с.
105. *Дзердзеевский Б. Л., Курганская В. М., Витвицкая З. М.* Типизация циркуляционных механизмов в Северном полушарии и характеристика синоптических сезонов // Труды НИУ ГУГМС. Серия 2. Вып. 21. 1946. 46 с.
106. *Малик С. А.* Влияние физико-географических условий на синоптические процессы и погоду Северного Кавказа и Нижнего Дона // Автореферат канд. дис ... Ростов-на-Дону, 1955. 16 с.
107. *Малик С. А.* Некоторые данные о климате свободной атмосферы над Северным Кавказом и Нижним Доном // В кн.: Авторефераты научно-исследовательских работ за 1959. Ростов-на-Дону.: Гос. унив-т, 1960. 38 с.
108. *Малик С. А.* Атмосферные процессы над Северным Кавказом и Нижним Доном // В кн.: Ученые записки РГУ. Т. XIII. Труды географического факультета. Вып. 1. Ростов-на-Дону, 1948. С. 81–97.
109. *Темникова Н. С.* Климат Северного Кавказа и прилежащих степей. Л.: Гидрометиздат, 1959. 318 с.
110. *Темникова Н. С.* Некоторые характеристики климата Северного Кавказа и прилежащих степей. Л.: Гидрометиздат, 1964. 176 с.
111. Гидрометеорологический справочник Азовского моря. Л.: Гидрометиздат, 1962. 856 с.

112. Вопросы циклонической деятельности и прогноза метеорологических явлений / Под ред. Е. П. Веселова, О. Н. Белинского. Л.: Гидрометиздат, 1975. 85 с.
113. Кулиева Р. Н. Влияние секторной структуры межпланетного магнитного поля на циркуляцию атмосферы Земли. Красноярск, 1974. 13 с.
114. Матора И. М. О природе сверхвращения верхней атмосферы Земли. Дубна.: ОИЛИ, 1999. 7 с.
115. Воробьев Ю. Л. Основы формирования и реализации государственной политики в области снижения рисков чрезвычайных ситуаций. М.: 2000. 247 с.
116. Порфирьев Б. Н. Организация управления в чрезвычайных ситуациях. М.: 1989. 63 с.
117. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Защита населения от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера / С. К. Шойгу, В. А. Владимиров, Ю. Л. Воробьев и др. М.: «Знание», 1999. 588 с.
118. Вероятностные метеорологические прогнозы / Под ред. Г. В. Груза. Л.: Гидрометиздат, 1987. 189 с.
119. Вознячук Л. Н. Материалы к изучению смерчей на территории Белоруссии // Ученые записки Белорус. ун-та. Серия геол. и геогр., 1954. Вып. 21. С. 38.
120. Вопросы динамико-статистических прогнозов и спектрального анализа временных рядов / Под ред. Ю. М. Алехина. Л.: ЛГМИ, 1975. 156 с.
121. Дюнин А. К. Механика метелей // Вопросы теории и проектирования снегорегулирующих средств. Новосибирск.: Изд-во Сиб. отдел. АН СССР, 1963. 378 с.
122. Жирков К. Ф. Климатический очерк района Цимлянского водохранилища // Ученые записки РГУ. Том XLIV. Вып. 8, 1959. С. 18.
123. Залыханов М. Ч., Лосев К. С. И снег, и град, и горы. Л.: Гидрометиздат, 1991. 144 с.
124. Использование метеорологической информации данных ИСЗ и МРЛ для прогноза опасных и особоопасных явлений погоды / Под ред. В. В. Брежнева, Е. П. Веселова. Л.: Гидрометиздат, 1978. 101 с.
125. Кайгородов А. И. Естественная зональная классификация климатов земного шара. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1955. 117 с.
126. Краткосрочный прогноз метеорологических элементов и опасных явлений погоды // Труды ГНИЦ СССР. Вып. 299. Л.: Гидрометиздат, 1989. 104 с.
127. Курганская В. М. Синоптические условия метелей на дорогах Западной Сибири и Казахстана при южных циклонических вторжениях // Метеорология и гидрология. 1936. № 1. С. 18–40.
128. Методические указания по прогнозу опасных и особоопасных явлений погоды / Под ред. П. Г. Вовченко. Ростов-на-Дону, 1974. 40 с.
129. Михель В. М., Руднева А. В., Литовская В. И. Переносы снега при метелях и снегопадах на территории СССР. Л.: Гидрометиздат, 1969. 203 с.

130. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 13. Л.: Гидрометиздат, 1990. 450 с.
131. Общая и синоптическая климатология // Под ред. О. А. Дроздова, Е. В. Воробьевой. Л.: Гидрометиздат, 1977. 148 с.
132. Общая и прикладная климатология // Труды ГГО им. А. И. Воейкова. Вып. 532. Л.: Гидрометиздат, 1990. 231 с.
133. *Осипова Е. И.* Синоптические условия ныряния циклонов на юго-восток Европейской территории в 1963 г. / Рукопись, архив СКГМЦ, 1963. 79 с.
134. *Переходцева Э. В., Снитковский А. И.* Использование дискриминантного анализа для разделения ситуаций со шквалами и без них на основании асинхронных данных // Труды ГМЦ СССР. Вып. 185. 1977. С. 57–69.
135. *Погосян Х. П.* Грозные явления атмосферы. М.: Изд-во «Знание», 1968. 48 с.
136. Равнины ЕТС. Под ред. Герасимова И. П. и др. М.: Изд-во «Наука», 1971. 320 с.
137. *Сибир Е. Е.* Вероятностное моделирование связанных метеорологических рядов и оценка точности их выборочных характеристик / Автореферат на соискание ученой степени канд. физ.-мат. наук. Л.: 1983. 15 с.
138. Синоптические условия метелей / Под ред. А. Ф. Дюбюка. М.-Л.: Гидрометиздат, 1949. 215 с.
139. *Смирнов Г. А., Торбакова А. Ф.* Загадки природы в зеркале науки. Свердловск.: Сред. урал. кн. изд-во, 1984. 190 с.
140. *Соколов В., Хозин С.* Торнадо // Природа и человек. 1981. № 3. С. 56–59.
141. *Соловьев А. А., Хусаинов Б. Н.* Динамические характеристики лабораторных моделей торнадо // В кн.: Новое в солнечно-земных связях. М.: «Наука», 1980. С. 50–53.
142. Стихийные бедствия: изучение и методы борьбы / Под ред. С. Б. Лаврова, Л. Г. Никифорова. М.: «Прогресс», 1978. 437 с.
143. Стихийные метеорологические явления на Украине и в Молдавии / Под ред. В. Н. Бабиченко. Л.: Гидрометиздат, 1991. 223 с.
144. *Хоризани В. Г.* Микрофизика зарождения и роста града. М.: Гидрометиздат, моск. отд-ние, 1984. 174 с.
145. Циклоничность и антициклоничность в системе циркуляции атмосферы / Под ред. Н. В. Колобова. Казань.: Изд-во Казан. ун-та, 1974. 127 с.
146. *Чехович С. Н.* Синоптические условия метелей на дорогах ЕТС при южных циклонических вторжениях // Метеорология и гидрология. 1936. № 9. С. 10–32.
147. *Шакина Н. П.* Динамика атмосферных фронтов и циклонов. Л.: Гидрометиздат, 1985. 263 с.
148. *Шулейкин В. В.* Расчет развития, движения и загухания тропических ураганов и главных волн, создаваемых ураганами. Л.: Гидрометиздат, 1978. 76 с.
149. *Щербинин Э. И.* Факты и гипотезы о смерчах // Техника молодежи. 1978. № 7. С. 18–22.

150. *Knight C. A., Knight N. C.* Lobe Structure of hailstones // J. Atmos. Sci., 1970. V. 27. № 4. P. 667–671.
  151. *Macklin W. C., Bailey J. H.* On the critical liquid water concentrations of Large hailstones // Quart. J. Roy. Met. Soc., 1966. V. 92. № 392. P. 297–300.
  152. *Kraft H.* The hurricanes central pressure and high wind // Mar. wea. Log», 1961. Vol. 5.
  153. *Schiotani M., Arai H. A.* Short Note on the snow Storm // Proc. of the 2-d Japan Nat. Congr. Appl. Mec. 1952. P. 217–218.
  154. *Mason B. J.* Recent development in the physics of rain and rain making weather // J. Meteorol. V. 14. № 3. 1959. P. 134–135.
  155. Cricket-ball size hail in Australia, 11 December 1996 / Pryked // J. Meteorol. 1997. V. 22. № 215. P. 32–33.
  156. The Scherborne hailstorm and tornado of 7 June 1996 / Braunholtz T. // J. Meteorol. 1996. V. 21. № 213. P. 382–384.
-

*Научное издание*

**Андреева Елена Сергеевна**

**ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ ЮГА РОССИИ**

Редактор *С. П. Чернышева*

Компьютерная верстка *О. В. Владимиров*  
E-mail: oleg@vladimirov.org.ru

Оригинал-макет подготовлен  
издательством «ВВМ»

E-mail: vvm@oop.chem.spbu.ru

---

Сдано в набор 15.08.06. Подписано к печати 07.09.06. Формат 60×90 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать офсетная. Печ. л. 13,5.  
Тираж 500 экз. Заказ

---

Отпечатано в Отделе оперативной полиграфии НИИХ СПбГУ  
198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., 26