

УДК 551.509.32

На правах рукописи

Андреева Елена Сергеевна

**Концепция вероятностно-географического прогнозирования опасных
явлений погоды юга России**

25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора
географических наук

г. Санкт - Петербург – 2008 г.

Работа выполнена в Российском государственном
гидрометеорологическом университете (РГГМУ)

Научные консультанты: доктор физико – математических наук, профессор
Карлин Лев Николаевич

доктор географических наук, профессор Кондратович
Казимир Вячеславович

Официальные оппоненты:

Доктор географических наук, профессор Хандожко Леонид Андреевич,

Доктор географических наук Лурье Петр Михайлович,

Доктор географических наук, профессор Сонькин Лев Рахмилович.

Ведущая организация: Научно-исследовательский центр
экологической безопасности Российской Академии наук (НИЦ ЭБ РАН)

Защита состоится 23 октября 2008 г. в 15 часов 30 минут на заседании
диссертационного совета Д. 212.197.01 Российского государственного
гидрометеорологического университета, при котором создан совет, адрес:
195196, г. Санкт – Петербург, пр. Малоохтинский, 98

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского
государственного гидрометеорологического университета

Автореферат разослан ____ _____ 2008г.

Ученый секретарь диссертационного совета,

д.ф.-м.н., проф.

А.Д. Кузнецов

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В борьбе со стихийными бедствиями успехи современной науки заметны, но не столь впечатляющи, как иногда представляется, что связано с особенностями самих явлений, с их кратковременностью, внезапностью и высокой долей стохастичной составляющей. Статистический анализ различных природных катастроф показывает, что на фоне относительного небольшого числа жертв отдельных частых событий выделяются редкие случаи с аномально большим количеством погибших.

Для стихийных бедствий, вызванных ураганами, цунами, смерчами и рядом других опасных природных явлений, характерна катастрофичность гидрометеорологического режима, определяющегося быстрым высвобождением огромного количества энергии.

Процессам формирования опасных явлений погоды, как показывают современные исследования, сопутствуют физические эффекты, локально проявляющиеся в земных сферах, которые принято называть предвестниками или предикторами событий. По характеристикам этих предвестников возможно судить о величине и времени будущего вероятного события. Следовательно, осуществляя глобальный мониторинг предикторов на поверхности и в атмосфере Земли, используя космические средства дистанционного зондирования Земли совместно с сетью специализированных наземных станций, возможно научное обоснование и прогнозирование проявления опасных явлений погоды.

По данным ВМО природные катастрофы мирового масштаба более чем в 90% случаев связаны с гидрометеорологическим режимом конкретной территории. При этом величины ущерба и жертв, в настоящее время, имеют устойчивый рост по сравнению с XX веком. В период с 1985 по 2005 гг. в мире ущерб от стихийных бедствий возрос почти в 10 раз, достигнув только за 2005 год 159 млрд. долларов. Число жертв увеличилось в 15 раз, составив в 2005 году 92 тыс. человек. Указанная ситуация, с одной стороны, объясняется тем, что произошедшие в мире за последние десятилетия прошлого века и в начале XXI века природные катастрофы, куда относят и опасные погодные явления (ОЯ), имеют тенденцию значительного возрастания частот. По данным на 2005 год ежегодный прирост упомянутых явлений в мире составил 18 %, а в Российской Федерации – 6.3 %, и, согласно экспертным оценкам ООН, тенденция в ближайшие десятилетия сохранится на данном уровне. В частности, по данным руководителя Росгидромета Бедрицкого А.И. в 2005 году в России наблюдалось рекордное количество ОЯ (361), из которых 27 % от общего количества (первое место) было зафиксировано на территории Северо-Кавказского УГМС. При этом

предупрежденность прогнозов ОЯ составила 86%, в числе непредусмотренных опасных явлений погоды оказались конвективные явления: ливни, шквалы, град.

С другой стороны, рост численности населения мира (в настоящее время более 6. 5 млрд. человек) и развитие мирового хозяйства, в свою очередь, усугубляют тяжесть протекания и последствия природных катастроф. В XXI веке наибольшие величины ущерба (32 % от общего), максимальные количества погибших (26 %) и пострадавших (32 %) вызывали наводнения и тропические циклоны.

Увеличение риска опасных явлений погоды приобретает характер мировой проблемы, требующей разработки современных научных принципов решения. В этой связи становится чрезвычайно *актуальным* совершенствование известных методов снижения риска опасных явлений погоды и разработки новых возможностей их оценки и управления. Необходимость такой работы обусловлена не только существенным материальным ущербом, связанным с природными катаклизмами и катастрофами, но и со значительными людскими потерями.

Объект исследования. Климатические, макросиноптические условия и гидрометеорологические процессы на равнинах юга Европейской части Российской Федерации (ЕЧР), приводящие к опасным явлениям погоды и имеющие наибольшую повторяемость за последние 55 лет (1950 – 2005 гг.).

Предмет исследования: сильные ветры, метели, гололедно - изморозевые явления, сильные дожди, шквалы, град.

Основная идея исследования заключается в концепции вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды на основе методики оценки метеорологических рисков или рисков ОЯ. При этом под *метеорологическими рисками* подразумеваются статистические вероятности наступления тех или иных опасных (согласно РД №52.04.563 – 2002) явлений погоды, с которыми связаны значительные суммы экономического ущерба и потерь среди населения. Основу методики составляет вероятностно – географический прогноз опасных явлений погоды как дополнение к синоптическому методу, позволяющему осуществлять только прогнозирование неблагоприятных событий, но не вероятности их проявлений в определенной географической точке.

Реализация идеи осуществлялась в два *этапа*. На первом *этапе*, согласно методам, принятым в географических исследованиях, выявлялись причины и условия возникновения опасных явлений и их пространственно – временной анализ. На втором *этапе* применялись методы математической статистики и нейромоделирования. Повторяемости или частоты случаев ОЯ считаются

относительно устойчивыми, относятся к известным неопределенностям и могут быть прогнозируемы в будущем. К ним применимы методы математической статистики такие как подход Байеса, позволяющий использовать условные вероятности, то есть предоставляющий возможность учитывать географические условия, выраженные в виде соответствующих исчисляемых параметров. Нейрометоды, отличающиеся известной гибкостью, позволяют решать нелинейные задачи и учитывать пространственные особенности прогнозируемых явлений (сети Кохонена), что и обуславливает возможность их использования для прогнозирования метеоситуации с опасными явлениями погоды или рисков их возникновения.

Цель и задачи. Данное научное исследование посвящено разработке и научному обоснованию методики оценки рисков опасных явлений погоды юга Европейской части России на основе концепции их вероятностно-географического прогнозирования. Реализация поставленной цели предусматривает решение задач:

- определения географических факторов, обуславливающих опасные явления погоды на юге Европейской части России;

- выявления характерных особенностей атмосферной циркуляции, приводящих к возникновению ОЯ, на основе ее количественных критериев;

- исследования хронологических рядов ОЯ с использованием методов математической статистики;

- районирования юга ЕЧР по частотам ОЯ для выработки рекомендаций перспективного экономического развития территории;

- адаптирования методов нейромоделирования для вероятностного прогнозирования опасных явлений погоды и управления рисками их возникновения;

- разработки методики оценки рисков ОЯ равнин юга России.

Научная новизна. Для реализации цели и решения поставленных в работе задач автором впервые:

- с позиции возникновения ОЯ исследованы равнинные районы юга Европейской части России;

- проанализированы и ранжированы географические факторы ОЯ на основе методов математической статистики;

- выявлены значения интенсивности атмосферной циркуляции, способствующие появлению ОЯ, выраженные в количественной форме (индексы А.Л. Каца);

-осуществлен анализ и прогноз ожидаемых значений вероятностей ОЯ на основе метода нейромоделирования;

- для разработки научного вероятностного прогноза будущих значений ОЯ (опасные явления погоды) рассмотрены как природный пример простой цепи Маркова;

-предложены основы вероятностно-географического прогноза ОЯ;

-разработана методика оценки рисков опасных явлений погоды равнин юга России.

Практическая значимость. Полученные результаты позволят:

-улучшить качество современных прогнозов ОЯ на основе разработанного вероятностно-географического метода, включающего элементы математической статистики и моделирования с учетом географических условий их возникновения;

-использовать полученные данные климатического районирования и районирования по частотам ОЯ для повышения эффективности экономического развития административных объектов на равнинах юга ЕЧР;

-минимизировать материальный ущерб и людские потери, применяя методику оценки рисков ОЯ и, в частности, вероятностно-географический прогноз для принятия оптимальных управленческих решений при ожидании ОЯ и преодолении их последствий.

Методы исследования и использованные материалы. В основу диссертации положены материалы многолетних наблюдений случаев опасных явлений погоды, отобранные на 22 метеорологических станциях, выявленных при анализе многолетних климатических закономерностей в архиве Северо-Кавказского межрегионального территориального управления Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северо – Кавказского УГМС). Основными источниками фактических данных явились климатические справочники, ежегодники и ежемесячники, выпускаемые ВНИИГМИ МЦД г. Обнинск, справочники по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации. В основу выбора критериев опасных явлений погоды были положены руководящие документы Росгидромета. Обработка данных производилась с применением методов математической статистики и моделирования.

Личный вклад автора. Диссертационная работа является результатом обобщения исследований, проведенных в период с 1997 по 2006 г. автором и в сотрудничестве со специалистами Северо-Кавказского УГМС, учеными Российского государственного гидрометеорологического университета,

Ростовского государственного университета, в настоящее время - Южного Федерального университета (ЮФУ) и других организаций. Автором были осуществлены сбор, обработка и систематизация статистической информации о реализовавшихся на юге Европейской части России опасных явлениях погоды. На основании анализа многолетних климатических особенностей были определены наиболее репрезентативные метеорологические станции для характеристики климата региона. Автор принимала участие в научных проектах по исследованию рисков опасных явлений погоды, в частности, в Межотраслевой программе сотрудничества Министерства образования РФ и Министерства природных ресурсов РФ по направлению «Научно – Инновационное сотрудничество» в 2003 году. Кроме того, в соавторстве с учеными Ростовского государственного университета (ЮФУ) была подготовлена монография «Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области» в 2002 году, в которой раздел «Опасные явления погоды Ростовской области» был написан лично автором.

Теоретические положения, выносимые на защиту.

а) определяющим фактором возникновения опасных явлений погоды является неустойчивость атмосферной циркуляции, обусловленная процессами на Солнце и геофизическими факторами;

б) хронологические ряды опасных явлений погоды представляют собой простую марковскую цепь с характерной связностью членов ряда по типу «красного шума»;

в) районирование равнин юга Европейской части России по частотам опасных явлений погоды позволяет выявить географические факторы, обуславливающие их возникновение;

г) теоретически установленная квазипериодичность хронологических рядов опасных явлений погоды дает возможность применять методы математического моделирования для вероятностного прогнозирования их будущих значений;

д) искусственные нейросети (сети Кохонена) позволяют осуществлять прогноз вероятности возникновения ОЯ на основе анализа соответствующей метеоситуации за счет способности к самообучению, интуитивного анализа информации, возможности модификации и подбора входящих численных параметров;

е) разработанная методика оценки рисков ОЯ и, в частности, вероятностно-географический метод их прогнозирования в сочетании с синоптическим методом позволит снизить значительные суммы ущербов и потерь, связанных с опасными явлениями погоды.

Апробация работы. Основные положения и результаты исследований докладывались на семинарах кафедры Динамики атмосферы и Космического землеведения Российского государственного гидрометеорологического университета в 2002 – 2007 г., а также на кафедре Метерологии

географического факультета Казанского государственного университета в 2007 г. Кроме того, полученные результаты обсуждались на следующих конференциях:

- Всероссийская конференция «Активные воздействия на градовые процессы», ВГИ, г. Нальчик, 23 – 25 октября 2001г.
- Всероссийская конференция «Современное состояние климатических условий республики Башкортостан и их возможные изменения в условиях глобального потепления», г. Уфа, 22 - 25 июля 2002г.
- VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Стратегические риски чрезвычайных ситуаций: оценка и прогноз», г. Москва, 15 – 16 апреля 2003г.
- Международный научно-практический форум «Великие реки», г. Нижний Новгород, 22 – 29 мая 2003г.
- Международная научная конференция «Экология и безопасность», г. Санкт – Петербург, 2 – 4 апреля 2004г.
- Международные научные чтения «Белые ночи», г. Санкт – Петербург, 2 – 4 июня 2004г.
- 1-я Научно-практическая конференция «Проблемы гидрометеорологического обслуживания», г. Туапсе, 21 – 23 апреля 2005г.
- 2-я Научно-практическая конференция «Экологические проблемы. Взгляд в будущее», пос. Лиманчик, 6 – 9 сентября 2005г.
- Всероссийская конференции «Активные воздействия на градовые процессы», ВГИ, г. Нальчик, 26 – 28 сентября 2005г.
- Всероссийская конференция «Оценка и управление природными рисками (Риск – 2006)», г. Москва, апрель 2006г.

Публикации. По теме диссертации опубликована 41 научная работа, среди них монография – 1, коллективная монография – 1, статьи в периодических научных журналах - 14, статьи в сборниках научных трудов - 5, участие в коллективных научных трудах конференций – 2, тезисы в трудах конференций – 9, учебные пособия (включая курс лекций) – 8. Публикации с 1 по 10 соответствуют требованиям ВАК Российской Федерации к научным изданиям, в которых могут быть опубликованы результаты диссертационных работ, и полностью отражают основные результаты диссертации.

Структура и содержание работы. Диссертационная работа состоит из введения, заключения и 7 основных глав. Общий объем работы 335 страниц, из них 49 рисунков и 31 таблица. В списке использованной литературы 213 наименований, из них 30 на иностранном языке.

Автор выражает глубокую признательность ректору РГГМУ, д.ф.-.м.н., профессору Карлину Л.Н. за помощь и научную консультацию при работе над диссертацией.

Автор благодарен за ценные советы, помощь и рекомендации д.г.н., профессору Кондратовичу К.В., д.ф.-м.н., профессору Музалевскому А.А., д.ф.-м.н., д.г.н., профессору Угрюмову А.И., д.ф.-м.н., профессору Кузнецову А.Д.

Автор искренне признателен коллективу Северо-Кавказского УГМС и, в частности, Вовченко П.Г., сотрудникам ЮФУ к.г.н., доцентам Смагиной Т.А., Кутилину В.С., Черноусову С.Я., сотрудникам РГГМУ доцентам к.ф.-м.н. Сероуховой О.С., к.ф.-м.н. Куликовой Л.А., к.ф.-м.н. Егорову К.Л., аспирантам СПбГТУ Андрееву И.С. и Андреевой С.В. за поддержку и помощь в применении методов математической статистики и моделирования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во *введении* обоснована актуальность проблемы, дана краткая характеристика проведенных исследований, сформулированы цель и задачи диссертации, определены объект и предмет, а также идея исследований, показана научная новизна и значимость работы, приведены сведения об апробации, публикациях и общей структуре работы.

В *первой главе* даны основные понятия и определения опасным явлениям погоды согласно действующему РД 52.88.629 – 2002. Описаны механизмы их возникновения и развития. В соответствии с целью работы представлена сущность концепции вероятностно – географического прогнозирования ОЯ и дана схема методики оценки рисков опасных явлений погоды.

Установлено, что для изучения явлений окружающей действительности важно выяснить, какая случайность их описывает, поскольку методы математической статистики могут быть применимы в случае определяемых вероятностей. В рамках данного исследования принято, что явления погоды и, в частности, их экстремальные проявления – опасные явления, имеют ежегодную повторяемость и, значит, отличаются квазиустойчивыми частотами. Физический процесс их возникновения имеет случайную составляющую, следовательно, для определения частот данных явлений можно использовать теорию вероятностей и методы математической статистики. Кроме того, атмосфера как среда, в которой возникают опасные явления погоды, отличается динамическим режимом. Для описания её состояний используется теория динамического хаоса, которую можно резюмировать следующим образом: «чем движение неустойчивее, тем устойчивее проявляются в нем статистические закономерности». Однако, 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, так как оно приводит к «расщеплению»

корреляции, то есть к постепенному увеличению независимости между определенными параметрами системы, а исходя из третьего эффекта Шноля, «независимых ни от чего событий не бывает» в рамках космофизических обстоятельств.

Очевидно, что для исследования природных процессов и, в частности, опасных явлений погоды, наиболее подходит *диатропическая модель*, отличающаяся разнообразием подходов, фундаментальную роль в которых играет случайность.

Для реализации цели и задач данного исследования при описании такого рода моделей применялись методы математической статистики и нейромоделирования.

Объектом исследований являются климатические, макросиноптические условия и гидрометеорологические процессы, протекающие на равнинах юга Европейской части России и обуславливающие такие явления погоды, которые по своей интенсивности, продолжительности или охватываемой ими территории превышают установленные критические пределы, определенные соответствующими Руководящими Документами Росгидромета и относятся к опасными. Среди рассматриваемых опасных явлений погоды:

- сильные ветры - приземный ветер более 15 м/с;
- метели – комплексное гидрометеорологическое явление, сопровождающееся ветром 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 ветра более 15 м/с;
- гололедно-изморозевые явления - отложения воды и льда на горизонтальной или вертикальной поверхностях при диаметре отложений не менее 20 мм (гололед), не менее 50 мм (изморозь).

Для реализации цели исследований были сформированы каталоги ОЯ, включающие сведения о количестве случаев, интенсивности, продолжительности, вызываемом ущербе и жертвах, районе распространения за 1950 – 2005 гг. для каждого из рассматриваемых явлений. В дальнейшем использовалась информация о повторяемости ОЯ в отдельности и в общем (осредненная повторяемость).

Погодные явления, возникающие из-за возмущения атмосферной циркуляции, опасные по своей социально-экономической направленности, в числе которых особое место занимают подъемы уровня воды в природных водоемах и, как следствие, опасные гравитационные геофизические процессы (оползни и пр.), а также усиление приземного ветра. В этой связи выделены

три группы опасных явлений погоды, отличающихся повышенной повторяемостью за последние десятилетия XX и в начале XXI вв:

а) явления конвективного происхождения (сильные дожди, град и шквалы);

б) бароградиентные явления (сильные ветры и метели);

в) гололедно-изморозевые явления (гололед и изморозь).

Анализ особенностей межгодового хода опасных явлений в России за период времени с 1986 по 2005гг. позволил выявить следующие тенденции:

-увеличение числа случаев ОЯ от 1986 к 1995 гг. почти в 4 раза (с 61 до 250 случаев, соответственно);

-незначительное уменьшение количества явлений от 1995 к 2000гг. (с 250 до 135 случаев);

-увеличение количества опасных явлений погоды от 2000 до 2005гг. (с 135 до 361 случая).

В пределах равнинных районов юга России наблюдается режим повышенной повторяемости сильных ветров, а также гололедно-изморозевых явлений, характерных для холодного периода года (по данным Северо-Кавказского УГМС). Для теплого периода, в свою очередь, характерен небольшой рост частоты ливневых и сильных дождей в июне-июле чаще внутримассового происхождения. Таким образом, опасные явления погоды отличаются квазистойчивой повторяемостью в течение года и приводят к существенным суммам ущербов и жертвам, чем и обуславливают негативные социально-экономические последствия.

Значительный вклад в формирование природной составляющей повышения уровня водоемов и водотоков, а также эрозионных процессов вносят интенсивные и продолжительные осадки. В работе рассматривается конвективная составляющая этих явлений погоды, так как, кроме прочих факторов они определяются наличием вертикальных воздушных потоков в нижней части тропосферы. А конвекция способствует формированию облачности, чаще вертикального развития, поэтому данные 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, повышается значение подстилающей поверхности. Последняя, в свою очередь, способствует увеличению термических контрастов, придавая дополнительный импульс термической неустойчивости.

Повышение уровня в морских устьях рек или на берегах крупных озер в результате воздействия ветра на водную поверхность называется нагоном 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 наблюдались при повышении повторяемости сильных ветров западных направлений. Опасные скорости ветра (15 м/с и более) 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 опасным бароградиентным явлениям. Взаимодействие циркуляционных систем атмосферы и местной орографии, влияющих совместно на вероятность возникновения сильных ветров, на исследуемой территории представлено на примере северо-восточных ветров Черноморского побережья Кавказа (на участке Анапа-Новороссийск-Туапсе) – так называемой «новороссийской боры».

Основы предлагаемой концепции вероятностно – географического прогноза опасных явлений погоды как дополнение к синоптическому методу сводятся к следующему:

- предположение о том, что опасные явления погоды имеют квазиустойчивые частоты, дает возможность осуществлять статистические расчеты; в свою очередь, для осуществления прогноза вероятностей на определенную перспективу необходимо выявление связности между несмежными элементами хронологического ряда частот случаев ОЯ;

- составление прогноза вероятностей ОЯ или метеорологических рисков предполагает использование современных методов нейромоделирования, так как с их помощью возможно решение нелинейных нестандартных задач;

- создание модели требует ряда физически обоснованных входных параметров, отбор которых для решения задачи прогноза ОЯ вызывает ряд объективных трудностей, поэтому важно произвести поиск и отбор тех географических условий, влияющих на частоты ОЯ на равнинах юга ЕЧР, которые могут быть измерены и определены;

- циркуляция атмосферы является основным фактором, обуславливающим ОЯ, анализ ее необходимо осуществлять в следующей последовательности: макро-, мезо- и микросиноптические условия. Также нужно учитывать возмущения циркуляции атмосферы, которые вызваны как процессами на Солнце, так и геофизическими (состояние магнитного поля Земли) причинами;

- адекватность выбора факторов или предикторов изучаемых явлений можно оценивать с помощью подхода Байеса, проверка адекватности результатов которого проведена на основе следствия метода минимакса;

- прогноз вероятностей опасных явлений погоды на равнинах юга ЕЧР производится созданной нейросетью Кохонена для известных типов макросиноптических процессов с учетом индексов переноса и интенсивности циклонов и антициклонов с последующей оценкой его точности;

- при планировании социально – экономических мероприятий необходим учет результатов прогнозирования повторяемостей ОЯ и районирования изучаемой территории по частотам случаев указанных явлений, что позволит управлять рисками значительных ущербов и жертв.

В связи с чем предложена следующая *схема* методики оценки рисков ОЯ:

Первый этап. Изучение физико-географических особенностей равнинной территории юга России с точки зрения возникновения опасных явлений погоды: геология и рельеф; гидрография и растительность, климат и факторы его формирования, а также макро-, мезо- и микросиноптические условия. Затем, применяя известные методы интерполяции и районирования, осуществляется пространственно – временной анализ географических факторов, способствующих появлению ОЯ.

Второй этап. Для разработки вероятностно – географического прогноза ОЯ предлагается использовать методы математической статистики и нейромоделирования. Согласно описанным методам рассчитываются такие характеристики, как повторяемость или частота опасных явлений погоды, стандартное отклонение, дисперсия и другие. При этом считается, что частоты ОЯ относительно устойчивы и могут быть прогнозируемы в будущем. Далее, для расчета апостериорных вероятностей ОЯ применяется подход Байеса, который позволяет учитывать географические условия, выраженные в виде соответствующих исчисляемых параметров. Нейрометоды, отличающиеся известной гибкостью, могут решать нелинейные задачи и учитывать пространственные особенности прогнозируемых явлений (сети Кохонена), что и обуславливает возможность их использования для прогнозирования метеоситуации с опасными явлениями погоды или рисков их возникновения.

Во *второй главе* в соответствии с реализацией первого *этапа* исследований были проанализированы физико-географические условия юга России, способствующие возникновению ОЯ, в число которых включены геология и рельеф, гидрография и рельеф, климатообразующие факторы. Кроме того, для исследования вклада подстилающей поверхности в формирование местных особенностей климатических, макросиноптических условий и

гидрометеорологических процессов, приводивших к тем или иным опасным явлениям погоды, автором было проведено климатическое районирование равнинной территории юга ЕЧР.

Изучение характера расположения основных форм рельефа равнинной территории юга ЕЧР (рисунок 1) позволило сделать следующие выводы, что в исследуемом регионе:

-преобладают субширотно ориентированные возвышенности, гряды, кряжи (Донская гряда, Донецкий кряж, Сало-Маньчская гряда, Ставропольская возвышенность);

-на востоке по долине р. Волга расположены субмеридиональные возвышенности: Приволжская и Ергени;

-характерным является снижение высот в пределах описываемой территории к центру, юго-западу, юго-востоку, при значительном повышении к югу (до 831 м);

-специфичность ориентирования возвышенностей юга ЕЧР способствует формированию “коридора” по Кумо-Маньчской впадине, удобного для субширотных восточно-западных переносов;

-равнинный характер рельефа на юго-западе и юго-востоке создает предпосылки для проникновения морского умеренного и морского тропического воздуха;



Рис.1. Физико–географическая карта равнин юга Европейской части России

-достаточно хорошая доступность для различного рода вторжений и вхождений характерна для запада, юго-запада, севера, юго-востока;

-восток территории в значительной мере доступен для меридиональных переносов, как северных, так и южных (арктические, континентальные умеренные, континентальные тропические воздушные массы);

-очевидна континентальность климата востока равнин юга ЕЧР, орографически закрытого от влияния Атлантики.

При исследовании гидрографической сети исследуемой территории существенного воздействия Азовского и Каспийского морей на климат побережий не выявлено, что предположительно объясняется малой тепловой инерцией водоемов вследствие мелководности (глубины Северного Каспия - до 10м; Азовского моря - до 14 м). Кроме того, были получены следующие выводы, что на прибрежных территориях по сравнению с внутренними:

-теплее в осенне-зимний период и в целом за год (наиболее четко выражено на побережье Азовского моря);

-безморозный период увеличен на 14 - 18 дней;

-относительная влажность возрастает (особенно четко на побережье Каспийского моря);

-дефицит насыщения воздуха водяным паром минимален, однако во внутренних районах он повышается;

-уменьшено количество дней с устойчивым снежным покровом;

-развита бризовая циркуляция в теплые сезоны года;

-возникают и смещаются местные циклоны (Черноморские, Каспийские);

-имеют место локальные усиления скоростей ветра на мысах.

В целом, подстилающая поверхность создает благоприятные условия для проникновения разнородных 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 ЕЧР, ориентация возвышенностей на востоке в меридиональном направлении, Кумо-Манычский ветровой коридор, степная растительность - создают предпосылки для формирования в рамках умеренного климата местных его вариаций согласно классификации Б.П. Алисова. 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.

Для исследования влияния подстилающей поверхности на особенности региональных климатических условий, способствовавших возникновению опасных явлений погоды, было проведено климатическое районирование равнин юга ЕЧР. Наиболее крупной принятой таксономической единицей, выполненного в работе климатического районирования, является физико-географическая страна Русская равнина, расположенная в пределах

умеренного климатического пояса, континентальной области (согласно районированию Б.П.Алисова). Более мелкие единицы - зоны и районы были определены автором по местным условиям с использованием таких характеристик, как: индекс сухости (Ис) по Н.Н.Иванову; 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; частота, продолжительность и интенсивность опасных явлений погоды. Первоначально вся территория исследования (102 метеорологические станции) была разделена на семь зон по характеру увлажнения (индекс сухости). Упомянутый критерий был выбран из-за того, что режим увлажнения исследуемой территории имеет большое значение для изучения ее климатических особенностей в связи с положением на юге умеренного пояса. Затем, в пределах каждой зоны было выделено 39 районов по сочетанию температур января, июля и годового количества осадков. В соотнесении результатов представленного районирования с работами Н.А.Гвоздецкого и Б.П.Алисова территория изучения была разделена с запада на восток (по мере увеличения континентальности) на следующие семь зон: атлантико-континентальные европейские степи (зона неустойчивого увлажнения, Ис ≥ 1.6 ; недостаточного увлажнения Ис от 1.6 до 1.8; слабо засушливая, Ис от 1.8 до 2.0) и сухие степи (засушливая, Ис от 2.0 до 3.0); континентальные восточноевропейские полупустыни (очень засушливая, Ис от 3.0 до 4.0) и пустыни (сухая, Ис от 4.0 до 5.0); континентальная северотуранская пустыня (очень сухая, Ис ≤ 5.0). С севера на юг было выделено 39 районов (рис.2). Анализ и обобщение результатов проведенного климатического районирования позволяют высказать предположение о влиянии континентальности климата на повторяемость опасных явлений погоды. В данном случае, вероятно, значение имеют годовые амплитуды температур. Так, в первой зоне частоты ОЯ составили 2.9 (сл. в год), при продвижении на восток к седьмой зоне эта величина возросла до 7.6 (сл. в год).

Опасные явления погоды связаны с эффектом разрешения термодинамической неустойчивости в нижней части тропосферы. В этом смысле основными агентами, передающими упомянутый эффект, являются следующие метеоэлементы: температура воздуха ($^{\circ}\text{C}$), влажность (удельная, г/кг), скорость ветра (м/с), влияние которых важно рассматривать на разных высотах, так как термодинамическая неустойчивость имеет различные тенденции развития на отдельных высотах: 1000 гПа; 850 гПа; 700 гПа. Вклад скорости воздушного потока, безусловно, вносящего коррективы в формирование зон неустойчивости в нижней части тропосферы, учитывается при расчете значений числа Ричардсона (Ri). Для чего были использованы аэроклиматические данные по ряду метеоэлементов на разных высотах в

тропосфере, измеренные в следующие сроки 00:00 мск; 06:00 мск; 12:00 мск; 18:00 мск на следующих аэрологических станциях: ст. Ростов-на-Дону, ст. Волгоград, ст. Минеральные Воды, ст. Туапсе.

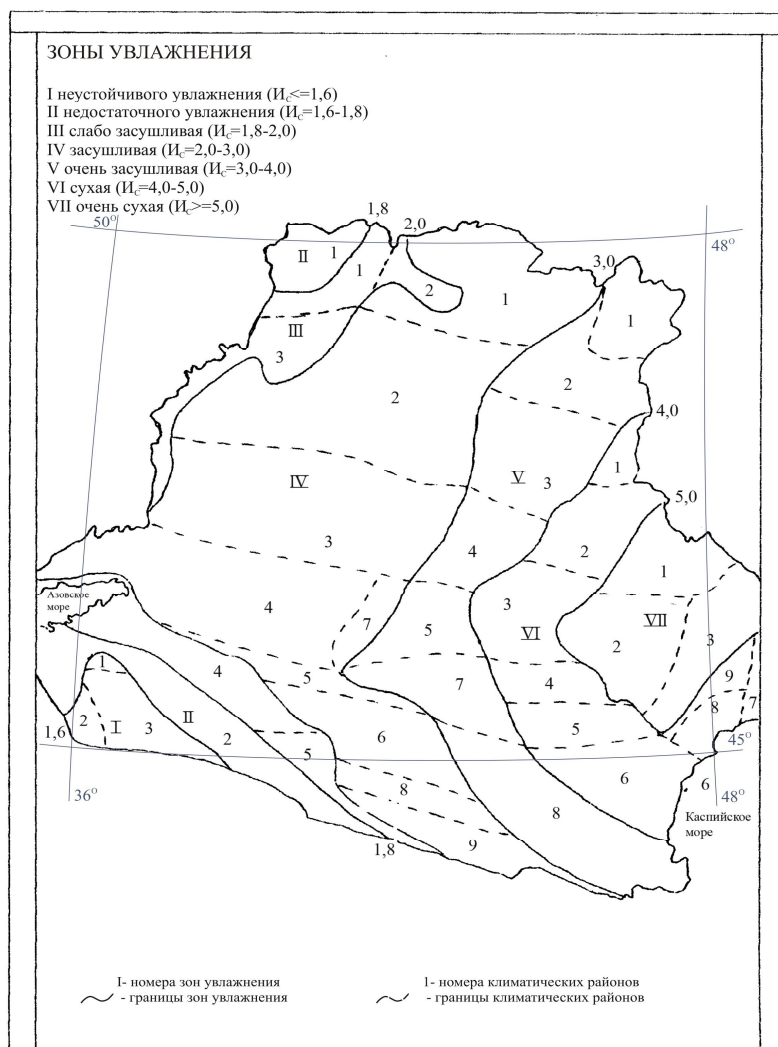


Рис.2. Карта - схема климатического районирования равнин юга Европейской части России

Выявленная тенденция увеличения значений температуры и влажности воздуха на разных высотах к западу (побережье Черного моря) обуславливает, очевидно, возрастание частот опасных явлений погоды в этом направлении. Общей тенденцией во все сроки наблюдений (06 :00 мск, 12:00 мск, 18:00 мск, 00:00 мск) является преобладание изменений значений температуры и влажности воздуха 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. Такая особенность объясняется климатическими закономерностями режима температуры и влажности.

Анализ внутригодового хода рассчитанных значений числа Ричардсона (Ri) для разных поверхностей показывает наличие стабильной тенденции к уменьшению их значений с высотой для всех исследуемых станций, что указывает на снижение устойчивости верхних слоев тропосферы и обуславливает формирование зон турбулентности, начиная с поверхности 850 гПа. Можно отметить, что для всех рассмотренных станций в теплый период времени слои воздуха отличаются большей устойчивостью, что объясняется преобладанием термической составляющей числа Ричардсона. Так, на высоте 850 гПа наблюдается тенденция повышения значений R_i 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. Возможно, это связано с уменьшением скорости переноса воздушного потока в это время. При этом, неустойчивость слоев воздуха выявлена только в декабре на станциях Туапсе и Волгоград. На станциях Минеральные Воды и Туапсе (на станциях Ростов-на-Дону и Волгоград – в течение всего года) в пределах поверхности 700 гПа выявлено повышение количества возможных зон турбулентности для отдельных месяцев холодного периода. Поверхность 500 гПа отличается повсеместным развитием турбулентных зон на всех станциях в течение года, что объясняется преобладанием динамического фактора (увеличение скорости переноса). Так, до высоты 1.43 км слои тропосферы отличаются устойчивостью в течение года, которая поддерживается термической составляющей числа Ричардсона. Выше поверхности 850 гПа из-за повышения роли динамического фактора устойчивость нарушается, что приводит к формированию зон турбулентности и, следовательно, будет способствовать формированию опасных явлений погоды.

Циркуляция атмосферы как определяющий фактор возникновения опасных явлений погоды рассмотрена в *третьей главе*. Произведен анализ макро-, мезо- и микросиноптических условий, во взаимосвязи влияющих на возникновение ОЯ. Кроме того, представлены результаты расчетов индексов переноса А.Л. Каца и выполнен анализ среднеголетних карт приземного барического поля юга России, а также карт приземного давления при наблюдающихся ОЯ. В числе возмущающих атмосферную циркуляцию факторов изучены процессы на Солнце и геофизические факторы. Для исследования вклада макросиноптических процессов в формирование ОЯ с некоторым допущением из-за расположения исследуемой территории практически на границе атлантико – европейского типа была применена соответствующая классификация Г.Я. Вангенгейма – А.А. Гирса. По среднеголетним данным в пределах данной территории (атлантико –

европейский сектор) в течение года преобладает (восточная) E-форма, менее выражены формы W (западная) и C (меридиональная). Для холодного периода года (ноябрь – март) наблюдается доминирование меридиональных форм E и C. Теплый период характеризуется сочетанием форм E и W, а форма C, в свою очередь, выражена слабее. Согласно этой классификации случаям опасных явлений в наибольшей мере способствуют E и C - формы атмосферной циркуляции, усиливающие, в частности, термический и влажностный контрасты между поступающими и местными воздушными массами. В последние десятилетия XX века была заметна тенденция к увеличению повторяемости форм меридиональной циркуляции (C). Однако в начале XXI века наметилось увеличение доли формы W. При меридиональной (C) и восточной (E) формах наблюдались конвективные и бароградиентные ОЯ. Гололед и изморозь, в основном, возникали при форме циркуляции (W) и (E). Кроме того, небольшое число таких явлений, как шквалы, сильные дожди и сильные ветры наблюдалось при форме W.

Дифференцированный учет особенностей макрометеорологических процессов удобно произвести на основе индексов А.Л. Каца как количественного показателя степени интенсивности циркуляции. Указанные индексы были рассчитаны для равнинной территории юга России и отражены в параметрах зонального и меридионального переноса (условные единицы измерения гПа/100 км). Согласно расчетам, в среднемноголетнем выражении данной территории свойственно преобладание широтной циркуляции с интенсивностью 0.9 гПа/100 км. Меридиональная циркуляция, в свою очередь, не имеет определяющего значения, ее интенсивность не превышает 0.2 гПа/100 км. Возникновению таких ОЯ, как сильные ветры и дожди, град, шквалы, гололед, изморозь и метели способствуют отклонения от нормальной формы циркуляции, проявляющиеся в виде смены ее знака и увеличения интенсивности. Кроме того, ОЯ наблюдались при увеличении значения общего индекса циркуляции (отношение меридионального к широтному индексу), особенно в случаях приземных вихрей (шквалы, смерчи). Так, на юге ЕЧР максимальные значения указанного индекса за исследуемое 55-летие составили 19.4 гПа/100 км для случая смерча (1985г.) и 9.8 гПа/100 км в случае шквала (1963г.).

Таким образом, наибольшие возмущения зонального поля и значительные амплитуды волн Планетарной Высотной Фронтальной зоны (ПВФЗ) вызывают усиление интенсивности аномальных форм циркуляции, что способствует появлению различных ОЯ, связанных как с горизонтальными, так и с вертикальными потоками воздушных масс.

В результате анализа среднемесячных карт приземного давления, полученным по многолетним данным (1873 – 1997 гг.), представляется возможность сделать следующие выводы:

-от января к апрелю включительно наиболее активными являются Исландский минимум, отрог Азиатского максимума и собственно Азорский максимум;

-от мая к сентябрю возрастает активность Азорского максимума, усиливаясь в июле, кроме того, между ним и Средиземноморским минимумом в этот период возникает взаимодействие;

-в октябре – декабре незначительно активизируется отрог Арктического максимума, влияние которого на климатические, макросиноптические условия и гидрометеорологические процессы равнин юга ЕЧР по многолетним данным не столь велико;

-в ноябре-декабре наиболее усилены градиенты приземного барического поля Европейской территории России.

Анализ карт приземного давления для отдельных дат ОЯ показал, что:

-метели возникали при взаимодействии отрогов Арктического или Азиатского антициклонов с Черноморской депрессией, либо в результате смещения западных, северо-западных или юго-западных циклонов;

-в случаях ливневых и сильных дождей, града, смерчей, шквалов (конвективных явлений) преобладало малоградиентное барическое поле;

-сильные ветры обуславливались либо взаимодействием отрогов Азиатского антициклона и Черноморской депрессией, либо циклонической деятельностью западного переноса;

-гололедно-изморозевые явления были связаны с циклонической деятельностью – формированием обширных теплых секторов циклонов.

Для исследования вклада мезосиноптических условий в возникновение ОЯ с помощью многолетних данных атмосферного давления (1873-1988г.) были рассчитаны такие параметры, как повторяемость (%) и интенсивность (гПа/100 км²) циклонов и антициклонов (по значениям лапласиана поверхностного давления). Согласно полученным результатам расчетов, в среднем на юге России преобладают антициклоны (по повторяемости и по интенсивности). Только в мае по тем же параметрам незначительно превалируют циклоны. В июне и июле по повторяемости преобладали циклоны. По данным исследований К.В.Кондратовича существует корреляционная зависимость 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 отмечена при северных

вторжениях способствует проникновению холодных масс воздуха на юг и образованию последующей неустойчивости атмосферы и сопутствующих при этом опасных явлений погоды. На исследуемой территории данную тенденцию удалось установить только для отдельных месяцев теплого периода (июнь, июль) (рис.3).

Для изучения микросиноптических условий формирования опасных явлений погоды дан обзор наиболее выдающихся случаев ОЯ на юге России за исследуемый промежуток времени.

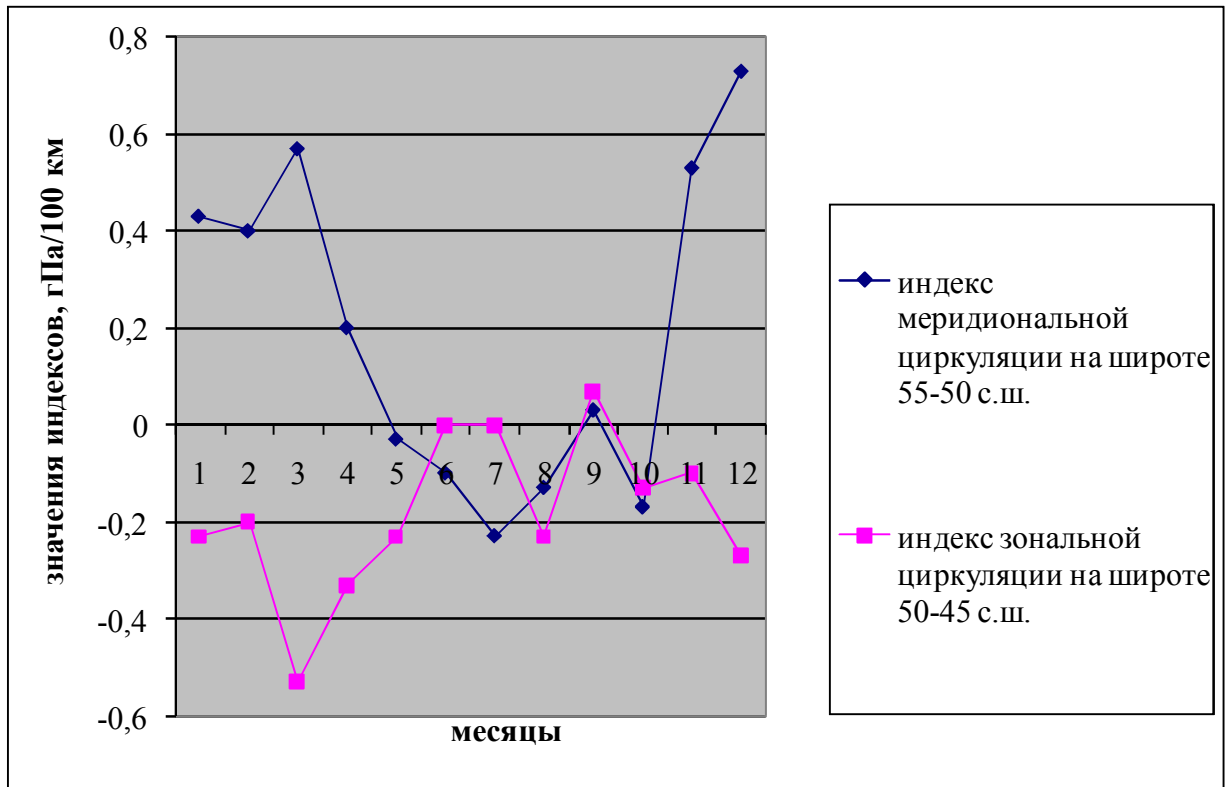


Рис. 3. Соотношение индексов циркуляции на широтах 55–50⁰ и 50–45⁰ с.ш.

Впервые теория устойчивости была изложена в работах Ляпунова и Пуанкаре в конце XIX века. При этом, устойчивость (или неустойчивость) понималась как свойство отклика системы на внешнее возмущение. Поэтому в теории устойчивости критерием считается знак числа Ляпунова с наибольшей вещественной частью. Атмосфера, в свою очередь, как сложная динамическая система, не являющаяся изолированной, может характеризоваться двумя состояниями: устойчивым и неустойчивым. При этом проблема предсказуемости указанных состояний и протекающих при их реализации процессов решается вероятностными подходами, в частности методом рандомизации неопределенности (подход Байеса). Неустойчивость в совокупности с другими факторами является одной из главных причин сложного поведения фазовых траекторий динамических систем, которое принято называть *детерминированным хаосом*, который 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, обнаруженные Пуанкаре в 1892г., притягивающими не являются. Хаотические движения в диссипативных системах, возникающие на странных аттракторах, были обнаружены Лоренцом в 1963г. Для обнаружения детерминированного хаоса в динамических системах можно использовать различные методы. Например, можно рассматривать поведение автокорреляционной функции с течением времени. Если данная функция быстро убывает при условии, что время развития конкретного природного процесса стремится к бесконечности, то данное движение системы можно отнести к хаотическому. Если же функция постоянна или осциллирует, то движение, очевидно, имеет характер регулярного. Далее, 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.

Из всего многообразия влияния объектов окружающего космического пространства существенным образом на состояние атмосферы и ее циркуляцию оказывает Солнце, в частности, степень возмущенности его фотосферы. В этом смысле солнечная активность определяется непосредственно числами Вольфа (числа солнечных пятен), так и опосредованно, в виде коэффициентов возмущенности магнитного поля Земли. Кроме того, на устойчивость циркуляции атмосферы оказывают влияние теллурические или земные факторы. А, именно, магнитное поле Земли является, тем фундаментом, структура и свойства которого во многом определяют поведение атмосферы. Анализ соответствующих каталогов повторяемости форм циркуляции Г.Я. Вангенгейма с 1891 по 2001 г., а также каталогов чисел Вольфа с 1700 по 2006 г. позволил сделать вывод о том, что высокая солнечная активность способствует увеличению интенсивности атмосферной циркуляции, при этом повышается повторяемость меридиональной формы в сочетании с зональной. Между числами Вольфа и возмущенностью магнитосферы Земли выявлена обратная связь. Также имеется тесная обратная связь между числом магнитных бурь и интенсивностью зональной (-0.7) и меридиональной циркуляции (-0.5). В годы с низкой активностью процессов на Солнце установлена небольшая прямая связь между числами Вольфа и состоянием магнитного поля Земли. В этот же период времени выявлено незначительное влияние упомянутого состояния магнитосферы на интенсивность циркуляции атмосферы.

Все изложенное выше показывает, что изменение солнечной активности существенным образом влияет на процессы общей циркуляции атмосферы,

связанный с ними режим погоды и, по-видимому, на повторяемость опасных ее явлений. Поэтому учет данного фактора – солнечной активности – необходим как для более глубокого понимания закономерностей атмосферной циркуляции и возникающих в нижней части тропосферы опасных явлений погоды, так и для успешного их прогнозирования. Однако следует заметить, что рассмотренный фактор не является единственным, его значение может существенно изменяться во времени. Кроме того, установленным является неоднозначный характер связи между активностью процессов на Солнце, обуславливающих возмущенность магнитосферы и повышающих, в свою очередь, интенсивность циркуляции атмосферы. Обратная связь между упомянутыми выше процессами, по-видимому, указывает на асинхронность между наступлением максимумов значений чисел Вольфа и величин индексов составляющих циркуляции. В качестве одного из предикторов для прогноза ОЯ, на основании проведенных исследований, будем использовать индексы магнитной активности, так как последние позволяют учесть суммарный эффект воздействия процессов, протекающих на Солнце (в частности, излучение корональных дыр и вспышек).

В *четвертой главе* на втором этапе реализации идеи работы были изучены особенности хронологических рядов опасных явлений погоды. Последние представляют собой среднегодовые повторяемости ОЯ с 1950 по 2005 гг. (генеральная совокупность) по отдельности и в общем (осредненная частота) по материалам журналов ТМ – 1, метеорологических ежемесячников и ежегодников рассматриваемых в работе метеостанций на территории Северо – Кавказского УГМС. Также внимание уделено среднемесячным частотам ОЯ, для отдельных лет (1974, 1979, 1987, 1994, 2000, 2002 гг.) были созданы ряды ежедневного фактического числа случаев ОЯ. На основе методов математической статистики, применяемой в гидрометеорологии, выявлены характерные тенденции хронологических рядов ОЯ для юга России. Кроме того, установлены географические закономерности распределения их повторяемостей.

Период времени с 1965 по 2005 гг. (из генеральной совокупности с 1950 по 2005 гг.) для статистической обработки был выбран в связи с объективной однородностью исходных данных. Согласно статистическому анализу количества ОЯ на равнинах юга ЕЧР за указанный период времени выявлены две тенденции к увеличению значений: первая, наиболее выраженная, от 6.5 (1965 г.) до 10.8 случаев (1969 г.), вторая, менее значительная, от 6.9 (2003 г.) до 8.1 случая (2005 г.) Наибольшие значения частот случаев явлений были зарегистрированы в январе – 0.8, феврале – 0.7, ноябре и декабре – по 0.6 для каждого из них; наименьшие – в сентябре (0.1 случай ОЯ). Наиболее неблагоприятными с позиции возможности возникновения опасных явлений погоды в пределах равнин юга ЕЧР являются зимние месяцы, что, по-

видимому, связано с развитием меридиональных форм циркуляции (Е и С) в этот период. Наибольшая среднемесячная частота случаев ОЯ наблюдалась на ст. Новоаннинский (0.9), Малые Дербеты (0.9), Нижний Чир (0.6), Морозовск (0.6), Заветное (0.6), при этом средняя величина составила 0.4 случая в месяц. С точки зрения доли (%) конкретного ОЯ в общем количестве явлений наиболее существенными оказались метели, изморозь и гололед, сильные ветры (январь, февраль, декабрь). Из общего количества рассмотренных ОЯ, наибольшие среднемесячные частоты случаев зафиксированы для сильных ветров (0.6), изморози (0.5) и метелей (0.5). Для годовых величин ОЯ необходимо отметить подобную ситуацию: преобладание повторяемостей сильных ветров (7.2), метелей (6.0), изморози (6.0) случаев в среднем за год. На уровне значимости оказались коэффициенты корреляции между общей частотой ОЯ и географической широтой (0.5), расстоянием до Черного моря, годовой амплитудой температур, средней температурой января (-0.5), индексом магнитной возмущенности (-0.6), интенсивностью антициклонов (0.7).

В качестве дополнительной характеристики климата равнин юга России было проведено районирование по повторяемости опасных явлений погоды (рис.4).

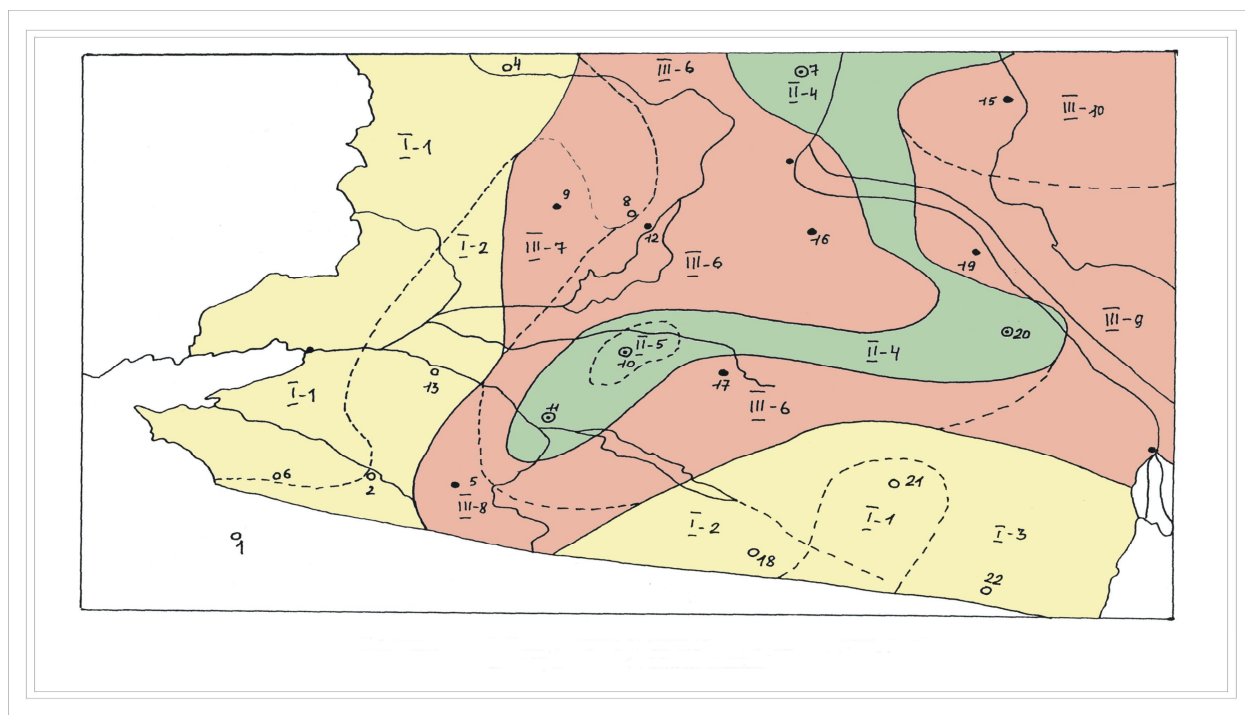


Рис. 4. Районирование равнин юга Европейской части России по среднегодовой повторяемости опасных явлений погоды

Изначально по частотам опасных явлений погоды юга России определялось среднегодовое количество данных явлений, разделенных на генетические группы: сильные ветры, метели (общие и низовые), конвективные (сильные дожди и ливни, шквалы, град), гололедно-изморозевые явления. Таким способом были выделены три области: I – с пониженным числом ОЯ; II – со средним; III – с повышенным, соответственно. Затем в пределах каждой области определялся процентный вклад групп ОЯ, по величине которого изучаемая территория разделена на десять районов (названия районов выбраны по названиям метеостанций).

Анализ пространственного распределения общего числа случаев ОЯ, согласно построенной по методу интерполяционной схемы, позволил выявить следующие закономерности:

-на востоке исследуемой территории наблюдается тенденция к повышению числа явлений;

-в центре возникают взаимодействия различных по физическим свойствам воздушных потоков, проникновению которых способствуют особенности рельефа, что также обуславливает значительные частоты ОЯ.

Отсюда, весьма значимой для генезиса ОЯ на юге России является макроциркуляция воздушных масс, эволюция барических систем и атмосферных фронтов. Однако, необходимо отметить благоприятствующее значение рельефа территории, создающего характерные условия проникновения воздушных масс (Кумо-Манычский коридор).

Теория случайных процессов и возможности ее применения для исследования хронологических рядов опасных явлений погоды составляют основу *пятой главы*. При этом исследуется неслучайность колебаний в рядах с использованием определенных критериев. Изучены также автокорреляционные функции частот ОЯ и произведен анализ квазипериодических их рядов. Проверка гипотезы марковости цепи, представляющей собой хронологические данные ОЯ за 55 лет, показала достаточную близость теоретических или критических значений к рассчитанным, то есть была подтверждена. Статистика t_3 (то есть, наличие подобия марковости ряда) была проверена при помощи критерия сходимости – коэффициента Пирсона (критерий χ^2). Так, при уровне значимости 0.05 и, исходя из того, что $(m-1)^2 = 1$ при $m = 2$ (два состояния, неустойчивое (i), при котором имеются ОЯ, и устойчивое (j), при котором ОЯ отсутствуют), т.е. степень свободы равна 1, вероятность сходимости значений t_3 по χ^2 изменяется от 0.08 до 0.43. Выявление подобия марковости рядов ОЯ позволяет сделать вывод о возможности прогнозирования будущих значений их вероятностей. Однако, большое значение в данном случае имеет не только продолжительность выборки, но и ее состав, и однородное распределение

неустойчивого (i) и устойчивого (j) состояний нижней части атмосферы. Рассмотрение графиков автокорреляционных функций позволило утверждать, что ярко выраженной экспоненциальности не наблюдается, однако на отдельных участках ее можно обнаружить. При длине реализации 56 лет (1950 – 2005 гг.) временной промежуток τ (аргумент автокорреляционной функции), на котором удалось зафиксировать квазиэкспоненциальность, составляет 15 лет. То есть, 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 *a priori* будет иметь значительную погрешность и может быть использован как вспомогательный. При наличии ежедневных данных, длина реализации $l = 365$ дней (случайным образом был выбран один год за исследуемое 55-летие), временной промежуток с подобием цепи Маркова удалось выявить при $\tau = 7$ дней. Исходя из этого, краткосрочное прогнозирование опасных явлений погоды можно осуществлять на срок не менее 7 дней. Что, очевидно, является подтверждением определяющей роли циркуляции атмосферы в генезисе опасных явлений погоды. Проверка гипотезы о неслучайности колебаний внутри рядов ОЯ показала, что по первому и второму критериям случайности (Аббе) все рассмотренные опасные явления не относятся к случайным, значит, некоторая взаимосвязь между последовательностью частот изучаемых явлений существует. Определенную зависимость в случае повторов серий положительных отклонений от среднего удалось обнаружить для большинства опасных явлений: града, шквалов, гололеда, изморози и сильных ветров. На основании представленных результатов можно констатировать, что данные ОЯ могут иметь связность между элементами по типу “красного шума” (простая цепь Маркова).

Представление об атмосфере как о сложной динамической системе с присущим ей эволюционированием позволяет применять для исследований рисков опасных явлений погоды, в ней возникающих, системный подход. 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. Так, например, данной сложной системе свойственны неустойчивое и устойчивое состояния, которые определяются набором количественных параметров. Переход атмосферы в неустойчивое состояние характеризуется появлением опасных явлений погоды. Существует множество подходов к определению понятия «риск». В данном исследовании будем считать, что метеорологический риск – это определяемая неопределенность, связанная с появлением тех или иных опасных явлений погоды. Для ее устранения в работе применяется метод байесовского снятия неопределенностей. Кроме того, опасные явления погоды, в связи со значительной быстротой развития и

интенсивностью, а также со сложностью установления линейных связей с их причинами, можно отнести к нелинейным объектам, что и обуславливает трудности в их прогнозировании. Поэтому для анализа их рисков более подходят методы нелинейной динамики. Атмосфера, вероятно, относится к сложным системам с эффектом запаздывания. В частности, между возмущенностью магнитного поля и моментом появления опасных явлений погоды в данном исследовании определен временной промежуток, равный 20 суткам.

В *шестой главе* на втором *этапе* реализации идеи работы описан вероятностно-географический прогноз ОЯ, осуществляемый на основе методов нейрокомпьютерного моделирования и, в частности, создания искусственных нейросетей. Для реализации метода прогнозирования вначале была создана база данных на основе метеорологических ежемесячников и ежегодников Росгидромета. Выборка ОЯ производилась с учетом критериев, принятых в Северо – Кавказском УГМС, а также исходя из утвержденного Руководящего Документа (РД №52.04.563 – 2002). При этом временной интервал охватывал 50 лет (данные с 1950 по 2000 гг.). Были отобраны репрезентативные метеорологические станции, расположенные на равнинных территориях Ростовской, Волгоградской, Астраханской областей, Краснодарского и Ставропольского краев, а также Калмыкии, с репрезентативными рядами наблюдений. Первоначально база данных содержала таблицы ОЯ с датами их возникновения, продолжительностью (начало – окончание), интенсивностью, а также с указанием географического района (станция, пост, пункт наблюдения). Кроме того, имелась информация о сопутствующих им явлениях, о синоптической обстановке в момент их возникновения. В дальнейшем, на основе обработки первичной информации была сформирована вторичная база данных, представляющая собой хронологические числовые ряды ОЯ.

Для определения условий, наиболее вероятных для возникновения исследуемых явлений, применялся подход Байеса с последующей оценкой результатов его применения при помощи следствия метода 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. Указанный метод был применен впервые для исследования конвективных, бароградиентных и гололедно-изморозевых явлений на равнинах юга России. Преимуществом его является то, что он позволяет с достаточно высокой степенью достоверности оценить условную вероятность опасных явлений погоды при определенных метеорологических и геофизических условиях. В результате расчетов удалось выявить комплекс геофизических и

метеорологических условий, наиболее вероятно приводящих к риску возникновения ОЯ. Это следующий набор:

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

Кроме того, были установлены следующие тенденции взаимосвязи между активностью магнитного поля Земли и ОЯ:

- между моментами сильных магнитных бурь и опасных явлений погоды существует обратная зависимость;
- средне – или слабовозмущенное магнитное поле при повышенной интенсивности антициклональной циркуляции в наибольшей мере способствует возникновению искомых событий;
- выявлен так называемый временной фактор или момент запаздывания пиков активности магнитосферы и ОЯ – исследуемые 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 дат интенсивность антициклональной циркуляции не менее 0.3 (гПа/100 км) при меридиональной -21.0 (м/с) составляющей скорости геострофического ветра (отрицательный знак составляющей вектора свидетельствует о направлении воздушного потока - северно – южный перенос) в большинстве случаев приводили к ОЯ. С другой стороны, магнитная активность Земли не более 2 - 3 баллов, зональная -13.0 (м/с) (восточно – западный перенос) составляющая 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 меридионального, так и зонального переносов.

Основной частью второго *этапа* реализации цели исследований является использование нейромоделирования для осуществления собственно вероятностно-географического прогноза опасных явлений погоды. В данном случае, в соответствии с описываемой концепцией, прогнозирование ОЯ будем производить после выделения макросиноптических типов, расчета индексов переноса, а также интенсивности антициклональной и циклонической циркуляции. Так, в частности, для прогнозирования ОЯ 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, фрагмент которой представлен на рис.5.

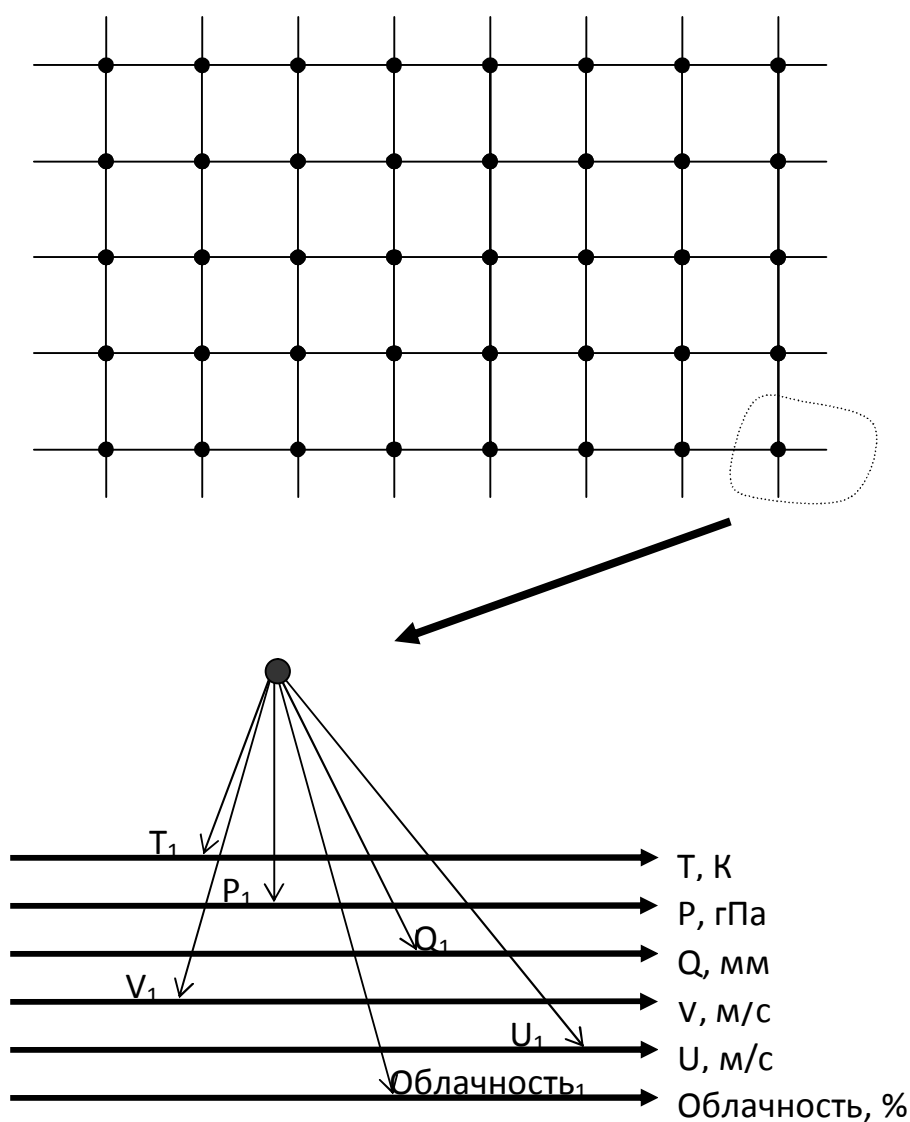


Рис.5. Общий вид сети Кохонена при осуществлении вероятностно-географического прогноза ОЯ

Для осуществления вероятно – географического прогнозирования опасных явлений погоды была создана отдельная база данных в виде нормального (без ОЯ) числового поля, ограниченного квадратом со сторонами $55 - 44^0$ с.ш., $40 - 60^0$ в.д. В ее состав входили ежедневные геофизические и метеорологические данные, включающие следующие параметры: мощность магнитной бури (в баллах); интенсивность циркуляции (в гПа/100 км²); температура воздуха (в градусах Кельвина); облачность (%); количество осадков (слой воды, мм); векторные составляющие скорости геострофического ветра (м/с); атмосферное приземное давление (гПа) (архивы Северо – Кавказского УГМС, ИЗМИРАН, NCEP/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 вероятностями прогнозируемых ОЯ, исходя из данных условий, понималось отношение концентрации нейронов в окрестности исследуемой точки к максимальной концентрации нейронов в пространстве задачи. В данном случае работа нейрона (элементарного компонента сети) складывалась из анализа заданных 9 параметров. Работа и настройка сети, в свою очередь, заключалась в том, что начальные значения координат нейронов выбирались случайно. Затем производилось нормирование вектора координат нейронов. Определялся нейрон-победитель. Для каждого опасного явления производилась коррекция векторов координат всех нейронов.

Коррекция вектора координат производилась с помощью кусочно-аналитической функции. Обучение сети осуществлялось в два этапа. Во время первого этапа окрестность нейрона-победителя была достаточно велика, а функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя, не равна нулю. Во время второго этапа окрестность нейрона-победителя стремилась к нулю, функция коррекции для нейронов, не попавших в окрестность победителя, равна нулю. После обучения нейросети, максимальная концентрация нейронов в пространстве принималась за единицу. В результате работы созданной нейросети были получены вероятности возникновения таких исследуемых в работе ОЯ, как сильные ветры, сильные дожди и гололед; диапазон их значений изменялся от 0 до 0.96. При этом нужно подчеркнуть, что реализация метода осуществлялась для каждого ОЯ в отдельности. Пример результата работы нейромодели для расчетов вероятностей возникновения сильных дождей для точки с координатами 45^0 с.ш. и 45^0 в.д. представлен в таблице 1.

Учебные испытания нейромодели производились на примере 2002 года для точки с координатами 45^0 с.ш. и 45^0 в.д. в рамках рассматриваемого квадрата со сторонами $40 - 60^0$ в.д. и $55 - 44^0$ с.ш. На первой ступени прогноза был

произведен учет развития в прогнозный период форм циркуляции W + C, при которых по среднемноголетним данным возникали шквалы, сильные дожди и сильные ветры, гололед и изморозь.

Таблица 1

Фрагмент выходных данных нейромодели для расчета рисков сильных дождей, полученных в ходе учебного испытания для точки 45⁰ с.ш. и 45⁰ в.д. в рамках квадрата 40 – 60⁰ в.д. и 55 – 44⁰ с.ш.

Дата прогноза	Рассчитанная вероятность ОЯ	Фактически наблюдаемое число сильных дождей
31.05.2002	0.9	1 случай (90,7 мм за 2 ч)
01.06.2002	0.3	0
02.06.2002	0.01	0
03.06.2002	0.1	0
04.06.2002	0.3	0
05.09.2002	0.4	0
06.06.2002	0.8	0
07.06.2002	0.01	0
08.06.2002	0.01	0
09.06.2002	0.2	0
10.06.2002	0.4	0
11.06.2002	0.2	0
12.06.2002	0.2	0
13.06.2002	0.1	0
14.06.2002	0.01	0
15.06.2002	0.4	0
16.06.2002	0.4	0
17.06.2002	0.5	0
18.06.2002	0.9	1 случай (55,7 мм за 7 ч)
19.06.2002	0.6	0
20.06.2002	0.8	1 случай (55,2 мм за 11 ч)

Параметры модели – описанные выше 9 входов, число нейронов 500. Результаты – ежедневные значения вероятности ОЯ (сильные дожди, сильные ветры, гололед), полученные отдельно в ходе работы сети, - были сравнены с реально наблюдаемыми в этом году ОЯ на расположенных вблизи этой точки метеостанциях, в частности, ст. Арзгир ($45^{\circ} 37'$ с.ш., $44^{\circ} 22'$ в.д.).

На представленном фрагменте для сильных дождей можно видеть достаточно близкую сходимость рассчитанных и фактически наблюдавшихся случаев рассматриваемых явлений.

Так, удалось верно рассчитать вероятность сильных дождей, наблюдаемых 31 мая (вероятность 0.9), а также 18 и 20 июня (0.9 и 0.8 соответственно). В течение года было зафиксировано 6 случаев сильных дождей, для 5 сл. из которых рассчитанная вероятность составила 0.9 (табл.1), поэтому оправдываемость этих опасных явлений составила 83 %, а доля неправильно рассчитанных вероятностей равна 17 %.

Из 3 случаев гололедно – изморозевых явлений верно предсказано было 2 случая (вероятность 0.8), оправдываемость составила 67 %, доля ошибки равна 33 %. Из 4 - х случаев сильных ветров было предсказано 2 случая, рассчитанные вероятности составили 0.9, оправдываемость прогноза составила 50 %, доля ошибки была равна также 50 %.

Оперативные испытания модели были проведены в декабре 2006, январе 2007, марте и апреле 2008 гг. на базе Ставропольского филиала АНО «Северо – Кавказское метеоагенство». Прогнозы ОЯ оценивались по материалам ст. Ставрополь ($45^{\circ} 30'$ с.ш., $41^{\circ} 59'$ в.д.). Также были учтены макропроцессы (W + C), преобладающие в прогнозный период времени. Параметры модели (9) были такие же, как и для учебных испытаний, число нейронов составило 500.

В таблице 2 приведен фрагмент выходных данных работы нейромодели для случаев сильных ветров в марте – апреле 2008 г., представляющих собой ежедневные вероятности указанных ОЯ.

Всего за рассмотренный период времени оперативных испытаний работы модели было зафиксировано всего 10 случаев сильных ветров на ст. Ставрополь, в 8 случаях из которых расчетная вероятность была определена верно (более 0.9). Поэтому оправдываемость прогноза сильных ветров в оперативном режиме составила 80 %. Доля ошибочно рассчитанных вероятностей сильных ветров для ст. Ставрополь была равна 20 % соответственно. Частоты гололедно – изморозевых и конвективных явлений были незначительны, поэтому для них прогнозы не производились. Рассмотренные выше результаты учебных и оперативных испытаний работы

модели позволяют сделать вывод о принципиальной возможности использования созданной нейромодели для прогноза ОЯ.

Таблица 2

Фрагмент выходных данных нейромодели для расчета рисков сильных ветров, полученных в ходе оперативного испытания для ст. Ставрополь (45⁰ 30` с.ш., 41⁰ 59` в.д) в рамках квадрата 40 – 60⁰ в.д. и 55 – 44⁰ с.ш.

Дата прогноза	Рассчитанная вероятность ОЯ	Фактически наблюдаемое число сильных дождей
22.03.2008	0.9	1 случай
23.03.2008	0.3	0
24.03.2008	0.01	0
25.03.2008	0.7	1 случай
26.03.2008	0.3	0
27.03.2008	0.4	0
28.03.2008	0.8	0
29.03.2008	0.01	1 случай
30.03.2008	0.01	0
31.03.2008	0.2	0
01.04.2008	0.4	0
02.04.2008	0.2	0
03.04.2008	0.2	0
05.04.2008	0.8	1 случай
06.04.2008	0.01	0
07.04.2008	0.4	0
08.04.2008	0.4	0
09.04.2008	0.5	0
10.04.2008	0.9	1 случай
11.04.2008	0.6	0
12.04.2008	0.8	1 случай

Анализ различных сочетаний метеоэлементов, в большинстве случаев приводивших к тем или иным опасным явлениям погоды, позволил на основании их типизации выявить ситуацию, соответствующую появлению опасных явлений погоды, распространенных на юге ЕЧР.

В качестве примера можно привести сочетание метеоэлементов, на фоне которых наиболее вероятно возникновение сильных ветров: атмосферное давление 1016 гПа; меридиональная и зональная составляющие скорости геострофического ветра на высотах 10 км: -39.0 и -20.0 м/с (северно – южный и восточно – западный перенос соответственно); температура воздуха 285.8 К; количество осадков 0.5 мм; облачность 57.8 %.

Необходимо отметить, что представленная метеоситуация имела весьма высокую повторяемость практически для всех исследуемых ОЯ. Поэтому можно сделать вывод о преобладающей роли антициклональной циркуляции в возникновении опасных явлений погоды в пределах изучаемого района (55 – 44⁰ с.ш., 40 – 60⁰ в.д.) 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).

Так, в частности, многие исследователи в разное время: С.А. Малик (1960), Н.С. Темникова (1964), П.Г. Вовченко (1980) и другие подчеркивали ведущую роль антициклональной циркуляции в формировании погодных и климатических условий юга России. Многолетние данные синоптического анализа также соответствуют выводам работы нейросети о преобладающем повышенном фоне давления в рамках исследуемой территории.

Также необходимо подчеркнуть, что значения метеоэлементов фиксируются до начала наступления исследуемых ОЯ. При этом временной промежуток упреждения прогноза данных явлений зависит от временного формата данных. Значит, для решения задачи кратковременного прогноза вероятностей опасных явлений должны быть созданы базы данных со срочными значениями метеоэлементов, для которых в определенное время наблюдались явления. Однако, следует учитывать тот факт, что обработка нейросетью информации значительной длительности будет занимать весьма продолжительное время. Так, например, работа нейросети по обработке массива, содержащего ежедневные метеоданные за 50-летие имела продолжительность свыше 4 часов для каждого явления.

Строго говоря, можно сформулировать рекомендации по поводу количества входных данных. Так, например, для осуществления краткосрочного прогноза ОЯ, вероятно, необходим массив определенных значений метеоэлементов не менее, чем за год (для метеостанции или поста и рассматриваемого ОЯ).

Для долгосрочного прогнозирования, в свою очередь, указанный объем должен быть около 30 лет и более, насколько позволяет наличие репрезентативных данных. Однако, следует учитывать тот факт, что обилие числовых значений может существенно осложнить выполнение требуемой задачи – расчета вероятностей и, как следствие, повысить погрешность вычислений. Поэтому стоит логически обосновать выбор оптимального временного промежутка, исходя из конкретных условий.

Кроме того, нужно напомнить, что предлагаемый метод посвящен прогнозу вероятности возникновения опасных явлений погоды, значительные ущербы и потери от которых связаны, кроме прочих моментов, с внезапностью возникновения ОЯ. Поэтому особый смысл для снижения высоких сумм ущербов и потерь имеет заблаговременность прогноза. Так как чем больше промежуток времени упреждения, тем больше различных мероприятий административного порядка можно осуществить. Например: укрепление высотных объектов или проверка исправности ЛЭП, буксировка на стоянку судов в портах, отмена работы авиационного транспорта при сильных ветрах; создание желобов и канав для стока воды при ливнях; защитные мероприятия на сельскохозяйственных полях от града, шквалов и пр. Вообще говоря, принятие соответствующих мер и их специфика зависит от уровня значимости рассчитанной вероятности прогнозируемого ОЯ.

Следовательно, разработанный метод прогнозирования опасных явлений погоды заключается и в возможности увеличения времени упреждения прогноза, и в получении значений вероятности их возникновения на фоне конкретной метеоситуации для любого временного промежутка.

Дальнейший анализ результатов работы нейросети и выявление вклада каждого в отдельности метеопараметра позволили выявить роль составляющих геострофического потока на высотах 10 км, значения и знаки векторов которых изменялись в случаях возникновения или отсутствия опасных явлений погоды.

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

-увеличение значений отрицательной меридиональной составляющей геострофического ветра (V , м/с) в большей мере, а также возрастание положительной зональной его составляющей (западно – восточный перенос) в меньшей степени влияют на повышение вероятности бароградиентных ОЯ (сильные ветры);

-повышение величин положительной меридиональной составляющей геострофического ветра (V , м/с) (южно – северный перенос) в большей степени, а также увеличение отрицательной зональной его составляющей

(северно – южный перенос) в меньшей степени способствуют возникновению конвективных ОЯ (сильные дожди, шквалы, град);

-возрастание положительной (западно – восточный перенос) или отрицательной зональной составляющей геострофического ветра (восточно – западный перенос) вызывают возрастание вероятности гололедно – изморозевых ОЯ.

Данные утверждения требуют дальнейшего исследования, однако составляющие скорости геострофического ветра, в числе описанных предикторов, также можно считать важными показателями для прогноза возникновения опасных явлений погоды, то есть расчета их рисков.

В *седьмой главе* описывается экономическая целесообразность предлагаемой методики оценки рисков ОЯ, представлен обзор рассчитанных нагрузок, возникающих при ОЯ, и указаны перспективы дальнейшего хозяйственного развития юга России с учетом частот ОЯ. На основе предлагаемой методики оценки рисков ОЯ даны рекомендации по управлению рисками ущерба при их возникновении.

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 от 50 до $70 \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{м}^2}$.

2. Ветровая нагрузка. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м изменяется от -30.7 до $-25.2 \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{м}^2}$.

Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки на высоте 12 м составляет от -30.1 до $-24.7 \frac{\text{кг} \times \text{с}}{\text{м}^2}$.

3. Гололедная нагрузка. Нормативное значение линейной гололедной нагрузки для элементов кругового сечения диаметром до 70 мм изменяется от 3.9 до $21.1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$.

4. Температурные климатические воздействия. Нормативные значения изменений средних температур по сечению элемента в теплое и холодное время года отличались весьма неблагоприятными для комфортности

населения величинами на востоке исследуемой территории. Так, на ст. Верхний Баскунчак для теплого времени года значение изменений средних температур достигало $+44.9^{\circ}\text{C}$; для холодного времени года -55.5°C . Более мягкие условия были отмечены на юге, где для теплого времени года указанные величины составили $+30.5^{\circ}\text{C}$; для холодного времени года -22.1°C (ст. Сочи).

Исходя из вышеперечисленных результатов расчетов, а также согласно проведенному районированию по частотам ОЯ и их вероятностно-географическому прогнозу, можно предложить следующие рекомендации по народно-хозяйственному использованию равнин юга ЕЧР:

1. Во всех областях и районах (рис. 4) установлена повышенная ветровая нагрузка, доля сильных ветров составляет не менее 20 % от всего количества опасных явлений. В связи с этим рекомендуется размещать сооружения и строительные объекты 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 их нагрузок, особенно для существующих и проектируемых линий электропередач, сухопутного, водного и воздушного видов 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.

При проектировании новых народно-хозяйственных объектов необходимо учитывать физико-географические особенности территории, а также направления переносов воздуха.

Использование соответствующими административными органами методики оценки рисков ОЯ, включающей результаты проведенного районирования с учетом метеорологических нагрузок, а также прогностических данных вероятностно-географического метода позволит существенно снизить величину экономического ущерба и потерь.

Системный подход основывается на изучении свойств системы и прогнозировании ее состояния на определенный момент времени. Возможность его применения в данном исследовании обуславливается пониманием атмосферы как природной системы, состоящей из множества элементов и отличающейся способностью смены состояний. Под управлением

риском ОЯ будем понимать процесс оптимального распределения затрат на снижение различных видов метеорологического риска в объективных условиях современного экономического уровня развития территории. Методическим аппаратом для реализации такого управления является системный подход. В практической деятельности используются упрощенные его варианты, известные в научной 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 ущербами и жертвами представляет собой необходимость коррекции настоящего экономического развития с учетом вероятностей опасных явлений погоды и затрат на ликвидацию последствий их возникновения. Иначе - целесообразности развития той или иной экономической деятельности в связи со спецификой возникающих в данном районе ОЯ. Поэтому, для решения 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 ОЯ, является высоким, а какой — допустимым.

В свою очередь, использование методики оценки рисков ОЯ и, в частности, предлагаемого вероятностно-географического их прогноза на равнинах юга России в качестве дополнения к синоптическому методу Росгидромета позволит повысить качество современных прогнозов и реализовать задачу управления рисками значительных ущербов и потерь от ОЯ.

В *заключении* диссертации приведены основные выводы, полученные в работе:

- по результатам исследований к числу географических факторов, обуславливающих опасные явления погоды, по результатам исследований были отнесены: характер рельефа, индексы атмосферной циркуляции, коэффициент возмущенности магнитосферы Земли, метеорологические элементы (температура воздуха, скорость геострофического ветра на высоте 10 км, количество осадков, облачность);
- установлено, что неустойчивость атмосферной циркуляции является определяющим фактором возникновения опасных явлений погоды. В свою очередь, неустойчивое состояние атмосферы также обусловлено влиянием солнечной активности на магнитосферу Земли. Кроме того, расчет числа Ричардсона показал, что возмущения циркуляции возможны при влиянии местных условий, создающих благоприятную среду для развития термодинамической неустойчивости;

- общая среднегодовая частота опасных явлений погоды на равнинах юга ЕЧР имеет тенденцию к увеличению значений от 6.5 (1965 г.) до 8.1 случая (2005г.). Зимние месяцы являются наиболее благоприятными для возникновения опасных явлений погоды, что объясняется развитием меридиональных форм циркуляции (Е и С) в этот период;
- статистический анализ хронологических рядов опасных явлений погоды подтвердил связность между последующими членами ряда на основе простой марковской цепи, что позволяет производить как краткосрочное, так и долгосрочное прогнозирование вероятности явлений;
- районирование территории юга Европейской части России по климатическим показателям и по частотам опасных явлений погоды дало возможность сделать вывод о том, что при повышении континентальности климата наблюдаются более высокие частоты опасных явлений погоды, что свидетельствует о наличии взаимосвязи между параметрами климата и ОЯ;
- исходя из достаточно высокой оправдываемости, метод прогноза вероятностей ОЯ на основе нейромоделирования можно предложить в качестве основного для территории Северного Кавказа (равнинной части, изучаемой в работе), поскольку в случае численных гидродинамических прогнозов опасные явления погоды не являются предметом их исследований;
- для осуществления краткосрочного прогноза ОЯ на основе нейрометодов необходим массив определенных значений метеоэлементов не менее, чем за год (для метеостанции или поста и рассматриваемого ОЯ). При долгосрочном прогнозировании указанный объем должен быть от 30 лет и более, насколько позволяет наличие репрезентативных данных. Заблаговременность прогноза обеспечивает снижение высоких сумм ущербов и потерь, поэтому чем больше промежуток времени упреждения, тем больше различных мероприятий административного порядка можно осуществить;
- результаты проведенного районирования равнинной территории юга России по повторяемостей ОЯ с учетом метеорологических нагрузок позволили разработать ряд рекомендаций по народно – хозяйственному использованию исследуемой территории;
- методика вероятностно-географического прогнозирования рисков опасных явлений погоды юга ЕЧР представляет собой совокупность

методов нейромоделирования и математической статистики с использованием географической информации, а ее использование в дополнение к синоптическому методу позволит значительно снизить такие их последствия, как экономический ущерб и людские потери.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в ведущих научных изданиях, рецензируемых ВАК РФ

1. Генезис и географическое распределение смерчей по территории Российской Федерации//Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Естественные науки, 2001, №3, с.84-86 (в соавторстве с Черноусовым С.Я., Андреевым С.С., Мартыновой М.И., Донченко Т.В.).
2. Перспективы лесоразведения в Ростовской области//Лесное хозяйство, №2, 2003. с.44-46 (в соавторстве с Мартыновой М.И.).
3. Биоклиматическая характеристика Ростовской области по индексу патогенности метеорологической ситуации//Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №9, 2003г., с 67 – 76.(в соавторстве с Андреевым С.С.).
4. Краткая биоклиматическая характеристика Ростовской области//Метеорология и гидрология, 2004, №8, с. 53-59 (в соавторстве с Андреевым С.С.).
5. Погодные аномалии и природные факторы их провоцирующие//Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №5, 2006. С.82 – 89 (в соавторстве с Андреевым С.С.).
6. О возможности аппроксимации конечных цепей Маркова для прогнозирования вероятностей опасных явлений погоды//Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №5, 2006. С.89 – 93 (в соавторстве с Андреевым И.С.).
7. Подходы к управлению рисками опасных явлений погоды//Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №4, 2008. с. 97 – 98.
8. Применение методов нейропрограммирования для определения

рисков опасных явлений погоды//Известия Высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. Приложение №5, 2008. с. 112 – 116.

9. К вопросу о применении вероятностно – географического метода прогнозирования рисков возникновения опасных явлений погоды равнин юга России// Естественные и технические науки, № 2, 2008 г. с.261 – 262.

10. Вероятностно – географический метод прогнозирования рисков возникновения сильных ветров для равнин юга России// Естественные и технические науки, № 4, 2008 г. с. 217 – 221.

Монографии

11. Опасные явления погоды юга России. Под ред. проф. Карлина Л.Н., г. Санкт – Петербург, Изд-во ВВМ, 2006. 216 с.

12. Опасные явления погоды в Ростовской области/Природные условия и естественные ресурсы Ростовской области. Под ред. проф. Хрусталева Ю.П., Ростов-на-Дону, 2002. с. 100-108.

Публикации соискателя по теме диссертации, отражающие основные научные результаты диссертационной работы

13. Программа по курсу:”Биометеорология и биоклиматология”.- Ростов-на-Дону, 1996.- 8с.

14. Программа практических занятий по курсу “Метеорология и климатология”. – Ростов-на-Дону, 1998. – 35с.

15. Методические указания по курсу “Метеорология и климатология” .- Ростов-на-Дону, 1998. – 7с.

16. Опасные конвективные явления погоды//Проблемы географии и экологии.- Ростов-на-Дону: Изд-во “Гефест”, 1999. – с.262-266.

17. Климат города Ростова-на-Дону//Учеб. Пособие. Природа Ростова-на-Дону.- Ростов-на-Дону: Изд-во Рост. ун-та, 1999, с.63-77 (в соавторстве с Черноусовым С.Я., Андреевым С.С., Астаховым В.В.).

18. Опасные явления погоды на равнинах юга ЕТР//Эколого-географические проблемы юга России. – Ростов – на – Дону: Изд-во “Гефест”, 1999, с.143-144.

19. Агроклиматическое районирование равнин юга ЕТР//Эколого-географические проблемы юга России. – Ростов-на-Дону: Изд-во

“Гефест”, 1999, с.35-38.

20. Опасные явления погоды//Научный сборник ДГТУ. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 1999, с.6-12.

21. Применение методов математической статистики для обработки хронологических рядов опасных явлений погоды//Эколого-географический вестник юга России.- Ростов-на-Дону: Изд-во “Гефест”, 1999, с.8-16.

22. Экологические аспекты антропогенного влияния на климат города (на примере г.Ростова-на-Дону)//Тезисы научной конференции РГЭА 21 декабря 1999г.-Ростов-на-Дону: Изд-во РГЭА, с. 10-15. (в соавторстве с Андреевым С.С.).

23. Исследования хронологических рядов опасных явлений погоды//Тезисы научной конференции РГЭА 21 декабря 1999г. – Ростов-на-Дону: Изд-во РГЭА, 20-30с.

24. Исследование связности между элементами и цикличности хронологических рядов опасных явлений погоды//Эколого-географический вестник юга России.- Ростов-на-Дону: Изд-во “Гефест”, 1999, с.12-18.

25. Эколого-географическая характеристика регионов современного расселения ногайцев//Ногайцы в контексте этнополитических отношений на Северном Кавказе: социальный статус и проблемы воспроизводства культурной самобытности. – Ростов-на-Дону, Изд-во “Пегас”,2000, с.7-29.(в соавторстве с Денисовым В.И., Кондратьевой А.А.).

26. Направления исследований опасных явлений погоды и их влияние на экосистемы Краснодарского Причерноморья//Труды Всероссийской научно-практической конференции «Проблемы комплексного управления прибрежными зонами», Туапсе, 2004г. с.107-108 (в соавторстве с Андреевым С.С.).

27. Некоторые результаты применения метода Байеса для оценки условной вероятности появления аномальных явлений погоды//Тезисы в Материалах VIII Международных научных чтений «Белые ночи – 2004», г. Санкт-Петербург, 2004, с.27-29 (в соавторстве с Карлиным Л.Н.).

28. Атмосферная циркуляция и ее влияние на риски возникновения аномалий погоды// Тезисы в Материалах VIII Международных научных чтений «Белые ночи – 2004», г. Санкт-Петербург, 2004, с.174-

176 (в соавторстве с Карлиным Л.Н.).

29. Опыт применения методов нейропрограммирования для решения прикладных задач в гидрометеорологии//Сборник научных статей «Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии». Ростов н/Д: Издательство СКНЦ ВШ АПСН, 2004. с.82-96 (в соавторстве с Карлиным Л.Н.).

30. О возможности реализации метода минимакса для определения риска ошибочного диагностирования погодных аномалий//Тезисы Всероссийской конференции в сентябре 2005г. в ВГИ, Нальчик, с. 12-14 (в соавторстве с Карлиным Л.Н. и Андреевым С.С.).

31. Неслучайность колебаний в рядах с использованием критериев систематического ряда//Тезисы 2-й Научно-практической конференции «экологические проблемы. Взгляд в будущее». Изд-во «Копицентр», 2005г. Москва-Ростов, с.12-18.

32. Климатические риски/Учебно-методическое пособие для студентов РГГМУ, г.Санкт-Петербург, 2008 г.

33. Природные катастрофы, вызванные аномалиями погоды (на примере Юга России)//Сборник научных статей «Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии». Ростов н/Д: Издательство СКНЦ ВШ АПСН, 2005, с. 57 – 69.

34. Природные факторы погодных аномалий//Сборник научных статей «Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии». Ростов н/Д: Издательство СКНЦ ВШ АПСН, 2005, с.47 – 57.

35. Реализация метода минимакса для определения риска ошибочного диагностирования погодных аномалий//Сборник научных статей «Проблемы гидрометеорологии и геоэкологии». Ростов н/Д: Издательство СКНЦ ВШ АПСН, 2005, с.137 – 143. (в соавторстве с Карлиным Л.Н.).

36. Погодные аномалии юга России//Сборник трудов международной школы-конференции молодых ученых, аспирантов и студентов («Изменение климата и окружающая среда»). г. Санкт – Петербург, РГГМУ, 06 – 09.12.2005г., с.44 – 55.

37. Погодные аномалии северо-западного побережья Черного моря в аспекте развития рекреации//Тезисы научно-практической конференции «Гидрометеорологическое обеспечение отраслей природопользования», г.Туапсе, 2005, с. 59 – 61.

38. Возможность аппроксимации конечных цепей Маркова для

прогнозирования вероятностей аномалий погоды//Тезисы 6-й Всероссийской конференции «Оценка и управление природными рисками (Риск – 2006)», г.Москва, 20 апреля 2006г., с.76 – 77. (в соавторстве с Андреевым И.С.).

39. Моделирование конечных цепей Маркова для вероятностного прогнозирования опасных явлений погоды//Тезисы V Всероссийской научно-технической конференции «Информационные системы и модели в научных исследованиях, промышленности и экологии», июнь 2006г. г. Тула, с.109 – 112.

40. География и генезис опасных погодных явлений юга России. Научное издание. Издатель Турова Е.А. г. Ростов-на-Дону, 2007. 86 с. (в соавторстве с Андреевым С.С.).

41. Синоптическая метеорология. Курс лекций. Издатель Турова Е.А. г. Ростов-на-Дону, 2008. 102 с.

АННОТАЦИЯ

Андреева Е.С. *Концепция вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды юга России.* – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук по специальности 25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология. – Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт – Петербург, 2008 г.

Диссертация посвящена разработке основ вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды юга ЕЧР. При этом решены следующие задачи: определение географических факторов, обуславливающих ОЯ; выявление характерных особенностей атмосферной циркуляции, приводящих к их возникновению с использованием индексов А.Л. Каца и типизации элементарных синоптических процессов Г.Я. Вангенгейма; исследование хронологических рядов ОЯ с применением методов математической статистики; адаптирование известных методов математического моделирования для вероятностно-географического прогнозирования опасных явлений погоды и управления рисками их возникновения; районирование юга России по частотам опасных явлений погоды для выработки рекомендаций перспективного экономического развития территории. Установлено, что неустойчивость атмосферной циркуляции является определяющим фактором возникновения опасных явлений погоды. При этом, неустойчивое состояние атмосферы определяется, исходя из влияния астрономо-космических и теллурических факторов. Кроме

того, возмущения циркуляции возможны при влиянии местных условий, создающих благоприятную среду для развития термодинамической неустойчивости, что показывают рассчитанные числа Ричардсона. В результате статистического анализа хронологических рядов опасных явлений погоды была установлена связность между последующими членами ряда на основе простой марковской цепи, что позволяет производить прогнозирование будущих частот явлений. Районирование территории юга Европейской части России по климатическим показателям и по частотам опасных явлений погоды позволяет выявить географические факторы, обуславливающие развитие тех или иных опасных явлений погоды. Повышение континентальности климата способствует более высоким частотам опасных явлений погоды, что свидетельствует о наличии взаимосвязи между параметрами климата и опасными явлениями погоды. Диатропический подход к исследованию опасных явлений погоды, а также учет нелинейности и случайности искомых событий позволяет применять методы нейропрограммирования для расчета рисков и осуществлять вероятностно-географический прогноз ОЯ на некоторую перспективу. Использование методики оценки рисков ОЯ и, в частности, вероятностно-географического их прогнозирования позволяет решать задачу управления рисками ущербов и потерь при возникновении опасных явлений погоды на современном научном уровне. Основные результаты работы имеют важное прикладное значение для различных сфер деятельности, в частности, связанных с развитием сельского хозяйства, транспорта, связи, а также с административно – хозяйственным управлением и пр.

Ключевые слова: опасные явления погоды, неустойчивость атмосферной циркуляции, индексы атмосферной циркуляции, критерии Аббе, марковская цепь, риски опасных явлений погоды, методы устранения неопределенностей (Байеса), метод минимакса, нейропрограммирование, системный подход, управление рисками опасных явлений погоды, вероятностно-географический прогноз.