

Государственное учреждение
«Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

На правах рукописи
УДК 551.510.09



Васильев Леонид Юрьевич

КЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Специальность 25.00.30 – метеорология, климатология,
агрометеорология

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург
2006

Диссертация выполнена в Государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова».

Научный руководитель: Кобышева Н.В. д.г.н., профессор.

Официальные оппоненты: Воробьев В.И. д.г.н., профессор.
Сонькин Л.Р. д.т.н.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный университет

Защита диссертации состоится «31» мая 2006 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д327.005.01 при Государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» по адресу: 194021 г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного учреждения «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова».

Автореферат разослан «21» апреля 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
доктор географических наук

A. Мещер.

А.В. Мещерская

2006А
8276

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Климат является одним из видов природных ресурсов, который играет основополагающую роль во многих процессах, происходящих на земной поверхности. Изучение климата в настоящее время является одним из наиболее важных направлений научных исследований. В условиях научно-технического прогресса экономика не стала независимой от климата. В последнее время эта зависимость возросла. Большое влияние на развитие сельского и лесного хозяйства, состояния водных ресурсов оказывают экстремальные климатические явления.

Возрастание энергетических затрат определяет необходимость поисков альтернативных источников энергии, которыми являются ветер и солнечная энергия.

Определение климата как природного ресурса делает весьма актуальной задачу климатического районирования территорий, определения климатического ресурсного потенциала административных образований Российской Федерации по основным видам экономической деятельности.

В тоже время на современном этапе развития математических методов классификации различных объектов, ГИС-технологий картографирования данных необходимо постоянное совершенствование методов климатического районирования.

В данной работе предлагается модель климатической классификации для прикладных целей, основанной на количественной оценке влияющих факторов.

Ввиду различия единиц измерения характеристик выбранных факторов, используются их балльные оценки. Роль влияющих факторов выражается в виде системы весовых коэффициентов при каждом факторе. Данная модель реализована при климатическом районировании Архангельской области.

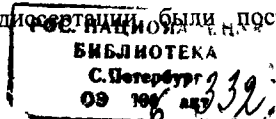
Кроме того, наряду с базовой прикладной классификацией выполнены расчеты климатического ресурсного потенциала для основных секторов экономики Архангельской области.

Результаты расчетов представлены в виде схематических карт. Данные карты могут быть использованы в процессе принятия экономических решений конкретными потребителями, что свидетельствует об актуальности представленной работы.

Цель и задачи исследования

Целью данной работы является проведение климатического районирования Архангельской области с применением методики, основанной на балльных оценках влияющих факторов, и использования современного математического аппарата на базе ГИС-технологий.

В соответствии с этой целью в диссертации были поставлены следующие задачи:



1. Составление краткого специализированного гидрометеорологического описания Архангельской области с оценкой социально-экономической инфраструктуры.

2. Систематизация и критический обзор современных методов климатического районирования территории.

3. Разработка объективного метода климатического районирования с применением ГИС-технологий и экспертной оценки влияющих метеовеличин.

4. Автоматизированное районирование Архангельской области по основным метеорологическим критериям

5. Районирование и анализ климатических ресурсов для определяющих экономику Архангельской области отраслей хозяйствования.

Научная новизна работы

В диссертации получены следующие новые научные результаты:

1. Разработана методика климатического районирования, основанного на балльных оценках метеорологических характеристик с применением ГИС-технологий.

2. Проведено климатическое районирование Архангельской области.

3. Проведено специализированное районирование Архангельской области и определен ресурсный климатический потенциал для различных секторов экономики.

Практическая значимость и реализация результатов работы

Результаты работы могут быть использованы для решения широкого круга задач, связанных с тематическим климатическим районированием территорий на базе ГИС-технологий для специализированного обеспечения отраслей экономики и различных потребителей климатической информации, в частности при проведении инженерных изысканий. Такие системы, в свою очередь, могут быть частью более общих экспертно-аналитических систем для управления природопользованием и принятия стратегических решений.

Апробация работы

Результаты работы докладывались на: научно-практическом совещании «Fifth Workshop on Land Ocean Interactions in the Russian Arctic (LOIRA), Moscow, November 12 – 15, 2002»; научной конференции по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды в государствах участниках СНГ, посвященной 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, проводившейся в Санкт-Петербурге 23-26 апреля 2002 г.; научно-практическом совещании «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях» проводившемся в Санкт-Петербурге, ААНИИ, 27-29 марта 2002 г.; а также на семинарах отдела прикладной

климатологии ГГО им. В.И. Воейкова. По теме диссертации опубликовано 9 работ.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 4-х глав, заключения, списка литературы и приложения. Объем диссертации составляет 148 страниц, включая 42 рисунка, 12 таблиц, библиографию из 57 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, дается общая характеристика работы, формулируются цели и основные задачи исследования, отмечается его научная новизна и практическая ценность.

В первой главе описываются природные условия, и дается социально-экономическая характеристика Архангельской области.

Архангельская область расположена на севере европейской части России. Площадь равна 589,9 тыс. км². В состав Архангельской области входит Ненецкий автономный округ.

Большая часть территории области имеет равнинный рельеф с высотами 200-250 м над уровнем моря. На общем равнинном фоне выделяется несколько холмистых и грядовых возвышенностей: Ветреный пояс, Няндомская возвышенность, Тиманский кряж, Канин Камень, Пай-Хой, а также отдельные холмистые участки на водоразделах рек Северной Двины и Пинеги и на Онежском полуострове.

Распределение полезных ископаемых тесно связано с геологическими структурами. На территории области имеются месторождения нефтяных углеводородов, алмазов, высокопрочных строительных материалов (гранитов и габбро), больших запасов известняков, доломитов, гипсов. Имеются источники сероводородных, железистых, йодисто-бромовых вод.

Одна из главных закономерностей ландшафта – широтная зональность. На территории области выделяется арктическая, тундровая и тасжная зоны.

Область состоит из Ненецкого автономного округа, являющегося субъектом Российской Федерации, 20 районов, 14 городов, 38 поселков городского типа, 242 сельских администраций и 3965 сельских населенных пунктов. Численность населения на 1 января 2005 г. составила 1304,5 тыс. человек.

Архангельская область относится к одним из наименее заселенных субъектов Российской Федерации (2,5 человека на 1 км²). Основная масса населения сконцентрирована в устьевой области Северной Двины, где расположены самые крупные города – Архангельск (358,5 тыс. чел.) и Северодвинск (232,8 тыс. чел.), а также г. Новодвинск (48,5 тыс. чел.) и множество деревень. В то же время огромные территории, особенно на Севере, не заселены.

Архангельская область располагает огромными лесными запасами. Основными отраслями промышленности Архангельской области является

лесопромышленный и военно-промышленный комплексы, топливная и пищевая промышленность, транспорт, на долю которых приходится около 90% всего производства. С 1997 года после значительного периода спада отмечается повышение объемов производства промышленной продукции.

По темпам экономического роста Архангельская область занимает второе место в России. Основной прирост достигнут за счет возрождения машиностроительной и целлюлозно-бумажной промышленности

Интенсивно развивается топливная промышленность. В Ненецком автономном округе открыто 73 месторождения углеводородного сырья, из них 66 нефтяных, 6 нефтегазоконденсатных и 1 газонефтяное, извлекаемые запасы которых оцениваются в 1,4 млрд. т. нефти и более 500 млн. м³ газа.

Военно-промышленный комплекс представлен Центром атомного машиностроения, расположенным в г. Северодвинске, и космодромом «Плесецк».

Географическое положение Архангельской области не располагает развитию сельского хозяйства. Основной продукцией растениеводства является производство зерна, выращивание картофеля, овощей и кормовых культур. На крайнем севере развито оленеводство.

В Архангельской области получили свое развитие все виды транспорта. Это связано с ее огромной территорией и необходимостью доставки людей и грузов на большие расстояния.

Объем грузоперевозок всеми видами транспорта составляет от 13 до 20 млн. тонн в год. Лидирующее положение занимает железнодорожный транспорт, за ним идет водный – морской и речной, автомобильный. Заметно уступает всем видам воздушный транспорт.

Во второй главе излагается методика климатического районирования территорий с применением ГИС – технологий и классификации ресурсов.

Составлен критический обзор методов районирования территорий. Наиболее простым подходом к районированию является проведение границ между ними на основании формальных признаков. Определение районов на основании только одних границ между ними по одному признаку затрудняет интерполяцию климатических характеристик.

Современные методы районирования позволяют опираться на набор признаков. Это методы кластерного и системного анализа – дискриминантного, факторного и метода главных компонент. Однако они также обладают рядом недостатков, например, требования подчиненности многомерному нормальному закону распределения и сложны в использовании.

В последнее время появились новые подходы к вопросам климатического районирования, в связи с включением климата в состав природных ресурсов, которые в значительной мере определяют уровень жизни населения.

В частности авторы работы /Кобышева Н.В. и др./ рассматривают климат как ресурс для различных отраслей хозяйствования, выражают

климатический ресурсный потенциал в баллах и условных климатических единицах. Переход к баллам позволяет объединять несколько климатических параметров, выраженных в разных физических единицах (градусах, м/с, днях и т.д.) и формировать комплекс, позволяющий оценивать специализированные климатические ресурсы.

Данный подход использован в работе для районирования климатических ресурсов ведущих секторов экономики Архангельской области.

Кроме специализированного районирования, усовершенствована и применена современная методика районирования, основанная на выделении влияющих на хозяйственную деятельность факторов и оценкой их вклада методом экспертных оценок. В данной методике также использованы балльные оценки основных влияющих факторов. Эта методика изложена в работах В.Б. Коробова, А.Г. Тутыгина, П.В. Ольхова, Л.Ю.Васильева.

Т.к. влияющие факторы играют разную роль в итоговой оценке объекта, степень вклада каждого фактора определяется при помощи соответствующих весовых коэффициентов при каждом факторе. С учетом вклада каждого фактора подсчет суммы баллов I_L для каждого объекта производится по формуле

$$I_L = \sum_i^n K_i P_i, \quad (1)$$

где $L = 1 \dots m$ – номера объектов (участков территории), K_i – вес фактора, P_i – значение фактора, выраженное в баллах, $i = 1 \dots n$ – количество факторов.

Выбор факторов определяется целями решаемой задачи. Количество факторов не ограничивается, но их не следует выбирать слишком много, так как возникают проблемы интерпретации результатов, что сказывается на качестве проведения классификации – районировании территории.

Для количественной оценки факторов необходимы соответствующие характеристики. Климатическое районирование территории может быть проведено в следующей последовательности:

1. Выбор климатических факторов;
2. Определение критериев оценки климатических факторов;
3. Расчет весовых коэффициентов факторов;
4. Расчет балльных оценок критериев;
5. Расчет суммарных балльных оценок факторов с учетом весовых коэффициентов для каждой точки исследуемой области;
6. Проведение районирования на основании разграничения суммарных балльных оценок.

Предварительно описываются автоматизированные методы построения карт климатических полей с применением географических информационных систем (ГИС).

До появления автоматизированных методов климатические карты строились вручную методом линейной интерполяции. В настоящее время задача получения цифровых показателей в узлах регулярной сетки, по которым затем строятся изолинии, решается при помощи ГИС, в которых реализован ряд методов численного анализа. Задача подбора наиболее подходящего метода интерполирования является сложной, поскольку их число в ГИС растет, а качество получаемых карт продолжает оставаться несовершенным. Это связано с тем, что зачастую при построении не учитывается характер и особенности данных, а также природные рубежи, на границах которых явления быстро меняются. Недостаточная разработанность проблемы автоматизации при создании карт природы, в том числе климатических, обуславливается сложностью существа картографируемых явлений, разнообразием количественных и качественных соотношений между ними. Недостаточно разработана методика подбора методов интерполирования. В России вопросами применения методов интерполирования для построения климатических карт в разное время занимались К.А. Салищев, С.М. Кошель, О.Р. Мусин. Источниками для составления климатических карт служат данные исследований, сведенные в климатические справочники, специализированные климатические базы и базы данных.

Наиболее сложным этапом реализации ГИС-технологий является интерполяция данных. Методы интерполирования, которые можно принять для построения карт климатических полей и других карт природы, можно разбить на две группы:

- чисто математические, в которых расчет осуществляется подбором соответствующей математической функции, описывающей поверхность;
- математико-статистические, в которых применяются как функции, так и методы математической статистики.

Математико-статистические методы создания поверхностей создают их на основе статистических свойств исходных данных. В отличие от чисто математических способов в этом случае можно построить не только саму поверхность, но и поверхность ошибки и неопределенности, являющиеся показателями качества прогноза. Математико-статистические методы незаменимы, если в данных присутствует тренд.

Основной математико-статистический метод построения поверхностей носит название кригинга (Kriging). Кригинг представляет собой довольно быстрый интерполятор. Он использует статистические модели, обеспечивающие такие картографические построения как прогнозные поверхности, прогнозы стандартных ошибок, стандартную ошибку индикаторов и вероятностную поверхность. Каждый набор данных, полученных в данной работе, анализировался на нормальность распределения и наличие тренда. В качестве методов интерполирования (программное обеспечение ArcInfo) тестировались: метод взвешенных расстояний, интерполирование локальными полиномами, метод радиальная функция и кригинг.

Математические методы интерполирования позволили создать обобщенные поверхности, но сравнение ошибок предсказаний, а также тот факт, что во всех анализируемых моделях присутствовал тренд, привели к использованию в качестве метода интерполирования одного из вариантов кригинга.

Следующим этапом является переход от физических единиц к балльной оценке.

Методы расчета балльных оценок можно разбить на три группы:

- ранжирование климатических характеристик;
- вычисление по эмпирическим формулам;
- расчет на основании шкал.

Расчет баллов по эмпирическим формулам использован при районировании климатических ресурсов некоторых областей Н.В. Кобышевой и О.Б. Ильиной.

Для получения объективных характеристик сравниваемых объектов, число интервалов показателей влияющих факторов должно быть одинаковым. В противном случае показатель, имеющий меньший вес, но проградуйрованный от 1 до 18 баллов, может дать больший вклад, чем показатель, имеющий шкалу в 6-8 градаций, даже если вес этого фактора будет существенно больше. При климатическом районировании Архангельской области число интервалов принято равным 9.

Весовые коэффициенты чаще всего находятся экспертным путем. Существует следующие способы определения весовых коэффициентов:

- прямое влияние оценивающих факторов;
- балльные оценки выходного качества;
- парное сравнение факторов альтернативных объектов;
- метод анализа иерархий.

В данной работе при определении весовых коэффициентов используется метод анализа иерархий (МАИ). Данный метод широко применяется для решения целого ряда практических задач, когда в силу трудоемкости и нелинейного характера зависимости между природными процессами (факторами), затруднительно описать и определить критерии с помощью стандартного математического аппарата.

В МАИ факторы сравниваются попарно между собой по отношению к их воздействию («весу») на общую для них характеристику. Результаты парных сравнений представляют в виде матрицы. Суждение экспертов представляются следующим образом (табл. 1).

Каждое из приведенных суждений кодируется числом от 1/9 до 9. В МАИ для кодирования используется номер соответствующей строки таблицы. Например, если признано умеренное превосходство элемента A_i (например, максимальной температуры воздуха) над элементом A_j (средняя скорость ветра), то в матрице парных сравнений соответствующие элементы матрицы примут значения $a_{ij} = 3$, $a_{ji} = 1/3$.

Иерархия экспертных сравнений соотношения факторов

№	Суждение	Пояснение
1	Равная важность	Равный вклад факторов в цель
2		Промежуточное суждение
3	Умеренное превосходство	Опыт и суждение дают легкое превосходство одного фактора над другим
4		Промежуточное суждение
5	Существенное превосходство	Сильное превосходство одного фактора над другим
6		Промежуточное суждение
7	Значительное превосходство	Имеется практически значительное превосходство одного фактора над другим
8		Промежуточное суждение
9	Очень сильное превосходство	Имеется значительное превосходство одного фактора над другим

Аппроксимация весов факторов в МАИ осуществляется путем вычисления собственного вектора матрицы парных сравнений, который равен соответствующему максимальному собственному числу.

При определении весовых коэффициентов с помощью МАИ качество работы экспертов оценивается по так называемому отношению согласованности (ОС), которое дает информацию о степени нарушения согласованности экспертных суждений, что может явиться ограничивающим фактором.

До сих идут дискуссии относительно числа экспертов, чтобы результаты их работы были достоверными. На практике число экспертов устанавливается от 5 до 30 человек. В данной работе использовались результаты опросов, полученные с помощью 7 экспертов.

В третьей главе представлены результаты работы по климатическому районированию Архангельской области для основных секторов экономики. Исходя из особенностей экономики Архангельской области, для районирования был использован определенный набор специализированных показателей, приведенных в таблице 2.

Влияние климатических условий на каждую указанную отрасль экономики и здоровье человека является комплексным и оценивается по совокупности специализированных показателей, представленных в таблице 2, полученных по методике принятой в «Энциклопедии климатических ресурсов Российской Федерации». При этом все показатели оценивались по десятибалльной шкале.

**Специализированные показатели для секторов экономики
и здоровья человека**

Сектор экономики	Показатель
Лесное хозяйство	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увлажнение 2. Годовая сумма активных температур 3. Радиационный баланс 4. Продолжительность вегетационного периода 5. Годовая сумма осадков
Трубопроводный транспорт. Погрузочные терминалы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Глубина промерзания (протаивания) грунта 2. Максимальная высота снежного покрова на конец декады 3. Среднее число дней с температурой воздуха $< -30^{\circ}\text{C}$ 4. Средняя годовая температура воздуха 5. Среднее число дней с грозой
Автомобильный и железнодорожный транспорт	<ol style="list-style-type: none"> 1. Повторяемость гололеда за сезон, (%) 2. Максимально годовое число дней с туманом 3. Среднее число дней с минимальной температурой воздуха за сутки $< -25^{\circ}\text{C}$ 4. Объем снегопереноса за зиму с максимальной продолжительностью метелей
Строительство. Тепловой режим зданий	<ol style="list-style-type: none"> 1. Температура наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 2. Абсолютный минимум температуры воздуха 3. Среднее число градусодней
Атмосферные нагрузки на сооружения	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ветровая нагрузка (ветровой напор, возможный 1 раз в 5 лет) 2. Снеговая нагрузка, возможная 1 раз в 5 лет 3. Гололедная нагрузка, возможная 1 раз в 5 лет
Ветроэнергетика	<ol style="list-style-type: none"> 1. Потенциальные ветроэнергоресурсы (средний куб скорости ветра)
Здоровье человека	<ol style="list-style-type: none"> 1. Средняя радиационно-эквивалентно-эффективная температура воздуха 2. Индекс дискомфорта

Для того чтобы провести районирование по степени полезности воздействия климата, был рассчитан для каждого сектора и объекта ресурсный климатический потенциал (РКП).

Приведены карты распределения следующих климатических ресурсов:

- ветропотенциала;
- климатических ресурсов теплового режима зданий;
- транспортно-климатических ресурсов;
- нагрузно-климатических ресурсов.

Распределение ветропотенциальных ресурсов (рис.1) показывает, что наибольший ветропотенциал на побережье Мезенской губы Белого моря (более 400 Вт/м²). Распределение ветропотенциала носит широтный характер и с продвижением на юг его величина быстро уменьшается. В Архангельской области целесообразно развивать ветроэнергетику на открытом побережье, т.к. это ветронасыщенный район. Средний куб скорость ветра составляет 141(м/с)³, а повторяемость штилей не более 5%.

Возможно развитие в области атомной и топливной энергетики, т.к. опасных метеорологических явлений для АЭС и ТЭС здесь почти нет.

Климатические ресурсы для строительства в Архангельской области малы и составляет примерно 50 млн. рублей в ценах 2000 года.

На рис. 2 представлено распределение ресурсов теплового режима зданий. Наибольшее значение ресурсов прослеживается в западной половине области (8-10 баллов).

Неблагоприятные условия для строительства и обслуживания зданий создаются на крайнем северо-востоке, где основной отрицательный вклад вносят низкие температуры воздуха, продолжительный отопительный период.

Транспортно-климатические ресурсы складываются из автотранспортных и железнодорожных ресурсов. Карта распределения транспортно-климатических ресурсов приведены на рис. 3.

Наиболее благоприятные условия для развития автомобильного и железнодорожного транспорта наблюдаются на крайнем юге области (8-10 баллов). На большей части области условия для развития транспорта также благоприятные (6-8 баллов). Неблагоприятные условия сказываются на северо-востоке области (0-2 балла). По наличию климатических ресурсов для сухопутного транспорта Архангельская область находится в достаточно благоприятных климатических условиях.

Нагрузо-климатические ресурсы (рис. 4) складываются из ветровой нагрузки, снеговой, гололедной и гололедно-ветровой. Наибольшие нагрузки и неблагоприятные условия для эксплуатации сооружений отмечаются на побережье Мезенской губы и на севере Онежского полуострова (0-2 балла). Максимальные ресурсы отмечаются на остальной территории области (6-10 баллов). На этой территории велик вклад снеговой нагрузки, однако ветровые и гололедно-ветровые нагрузки уменьшаются за счет облесенности территории.

Одним из наиболее важных секторов экономики Архангельской области является лесное хозяйство, которое в большей степени, чем другие сектора, подвержено влиянию окружающей среды. Большинство климатических показателей лесохозяйственных климатических ресурсов имеет довольно высокий балл и превосходит оптимальные для данного района запасы. Можно сделать вывод о благоприятности климата в значительной части области для развития лесохозяйственного сектора экономики. Наиболее благоприятными являются южные районы.

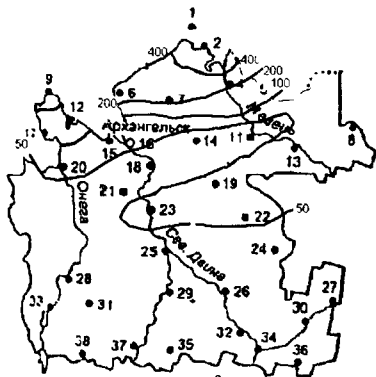


Рис. 1 Ветропотенциал, вт/м^2



Рис. 2 Климатические ресурсы теплового режима зданий

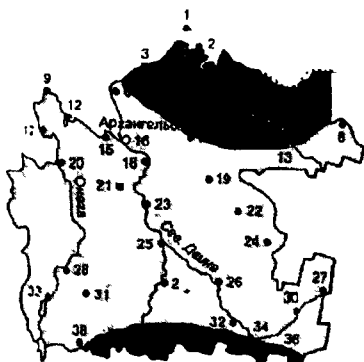


Рис. 3 Транспортно-климатические ресурсы

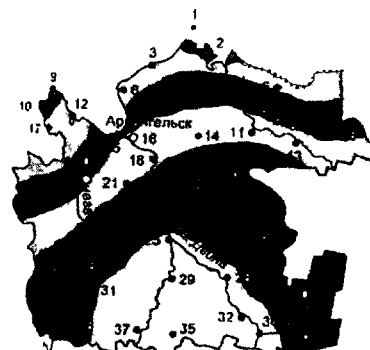







Рис. 4 Нагрузочно-климатические ресурсы

 1-8 баллов благоприятная
 0-2 балла неблагоприятная

 2,1-4 балла относительно неблагоприятная
 6,1-8 баллов благоприятная

 8,1-10 баллов наиболее благоприятная

Следует отметить, что в Архангельской области в большей своей части климатические условия не создают серьезных проблем для жизнедеятельности населения. Хотя до комфортных климатических условий Архангельской области далеки. Индекс суровости погоды Бодмана равен 4.

В четвертой главе анализируются климатические характеристики Архангельской области и приводятся результаты климатического районирования в соответствии с методикой, изложенной во второй главе.

В качестве входной информации были использованы имеющиеся данные наблюдений 64 метеорологических станций. Небольшая часть этих станций находится вне Архангельской области. Данные этих станций были привлечены для избежания краевого эффекта при интерполяции и экстраполяции данных.

Для выполнения исследований была создана база данных различного временного разрешения: месячные, сезонные, годовые значения метеорологических величин. Для расчетов использовались однородные ряды наблюдений.

Были выбраны 12 характеристик: температура – средняя температура воздуха, абсолютный минимум и максимум, даты перехода через 0°C и 10°C , среднее число дней с туманом, средняя скорость ветра, число дней с осадками, среднее количество осадков, суточный минимум осадков, высота снежного покрова, средняя относительная влажность воздуха.

После краткого описания общих особенностей климата Архангельской области применяется ГИС-технология для картирования.

Методом кригинга построены карты распределения климатических характеристик на территории области (всего 10 карт). На рис. 5 приведена в качестве примера карта средней годовой температуры воздуха.

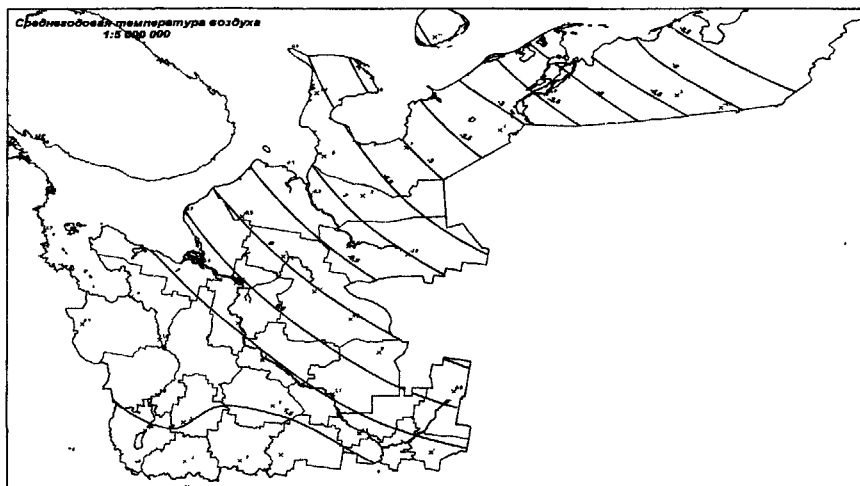


Рис. 5. Средняя годовая температура воздуха

Затем описывается применение модели климатического районирования территории Архангельской области. Для проведения районирования была применена базовая формула. Весовые коэффициенты были рассчитаны на основании опроса девяти экспертов методом анализа иерархий. Результаты работы двух экспертов превысили заданный предел величины отношения согласованности 20% и были исключены из рассмотрения. Результаты экспертного опроса приведены в таблице 3.

Таким образом, уравнение с учетом измененных весовых коэффициентов запишется в виде:

$$I_L = 0,110_{p_1} + 0,085_{p_2} + 0,145_{p_3} + 0,081_{p_4} + 0,041_{p_5} + 0,038_{p_6} + 0,099_{p_7} + 0,110_{p_8} + 0,099_{p_9} + 0,091_{p_{10}} + 0,075_{p_{11}} + 0,025_{p_{12}}, \quad (2)$$

где в порядке возрастания индексов p указаны балльные оценки выбранных факторов.

Таблица 3

Весовые коэффициенты климатических факторов

№	Факторы	Эксперты							Сред.
		1	2	3	4	5	6	7	
1	Средняя температура воздуха	0,162	0,1178	0,078	0,132	0,092	0,077	0,113	0,11
2	Абсолютный максимум температуры воздуха	0,054	0,054	0,114	0,134	0,128	0,075	0,036	0,085
3	Абсолютный минимум температуры воздуха	0,176	0,118	0,142	0,140	0,171	0,154	0,113	0,145
4	Даты перехода температуры воздуха через 0°	0,146	0,092	0,115	0,026	0,030	0,047	0,113	0,081
5	Даты перехода температуры воздуха через 10°	0,055	0,048	0,066	0,027	0,023	0,032	0,038	0,041
6	Среднее число дней с туманом	0,012	0,036	0,022	0,018	0,119	0,013	0,044	0,038
7	Средняя скорость ветра	0,087	0,111	0,053	0,155	0,062	0,120	0,113	0,099
8	Число дней с осадками	0,056	0,111	0,075	0,140	0,071	0,203	0,113	0,11
9	Среднее количество осадков	0,106	0,111	0,070	0,085	0,121	0,088	0,113	0,099
10	Суточный максимум осадков	0,060	0,111	0,149	0,079	0,047	0,132	0,063	0,091
11	Высота снежного покрова	0,061	0,057	0,100	0,045	0,119	0,042	0,104	0,075
12	Средняя относительная влажность воздуха	0,025	0,0334	0,017	0,020	0,016	0,027	0,035	0,025

По мнению экспертов, наиболее значимыми факторами оказались: абсолютный минимум температуры, число дней с осадками и средняя температура воздуха, а наименее значимыми – средняя относительная влажность воздуха, среднее число дней с туманом и дата перехода температуры воздуха через 10°С. Остальные факторы занимают промежуточное значение.

Балльная оценка получена следующим образом. Для каждого фактора строилась линейная шкала. Левая и правая границы шкал устанавливались по наименьшему и наибольшему значению характеристик, имеющих место в исследуемом регионе. Все шкалы разбивались на 9 одинаковых интервалов (рис. 6).

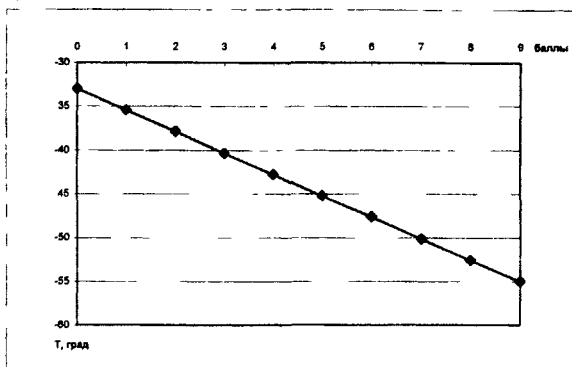


Рис. 6 Шкала абсолютных минимумов температуры воздуха

Следовательно, балльные оценки изменялись в пределах от 0 до 9 баллов. Территория Архангельской области была разбита на квадраты. Для каждого из них суммарные балльные оценки с учетом весовых коэффициентов рассчитывались по уравнению (1). Пример карты распределения балльных оценок по одной из климатических характеристик представлен на рис. 7. Суммарная балльная оценка с учетом весовых коэффициентов на территории Архангельской области изменяется от 3,20 до 5,85 баллов.

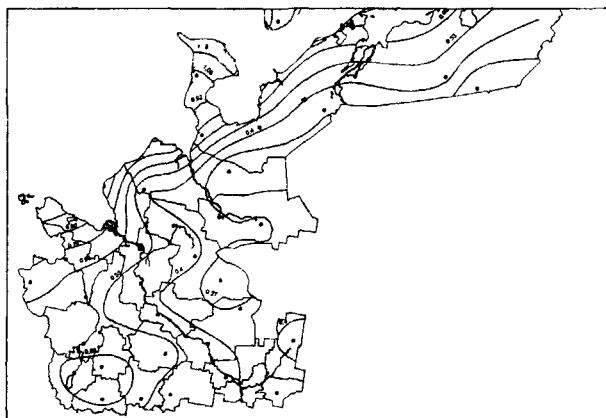


Рис. 7. Балльные оценки минимальной температуры воздуха с учетом весовых коэффициентов.

Анализируя распределение балльных оценок (с учетом весовых коэффициентов) основных метеорологических величин по территории Архангельской области можно сделать следующие выводы. В таблице (4) приведено распределение балльных оценок основных метеорологических величин по климатическим районам Архангельской области с учетом весовых коэффициентов.

Таблица 4

Распределение балльных оценок основных метеорологических величин по климатическим районам Архангельской области (с учётом весовых коэффициентов)

Наименование гидрометеорологических факторов	Район			
	1	2	3	сумма
1.Среднегодовая температура воздуха	0,21-0,6 (0,41)	0,7-0,8 (0,75)	0,89-1,0 (0,95)	2,11
2.Минимальная температура воздуха	0,27-1,18 (0,73)	0,27-0,92 (0,60)	0,53-0,66 (0,60)	1,93
3.Максимальная температура воздуха	0,54-0,67 (0,61)	0,61-0,69 (0,65)	0,69	1,34
4.Дата перехода температуры воздуха через 0°	0,16	0,25-0,52 (0,39)	0,25	0,80
5.Дата перехода температуры воздуха через 10°	0,21	0,09-0,21 (0,15)	0,09	0,45
6.Число дней с осадками	0,57-0,68 (0,63)	0,22-0,45 (0,34)	0,45	1,42
7.Суточный максимум осадков	0,1-0,3 (0,20)	0,2-0,6 (0,40)	0,3-0,5 (0,40)	1,00
8.Среднегодовое количество осадков	0,09-0,28 (0,19)	0,38-0,59 (0,49)	0,79-0,59 (0,69)	1,37
9.Средняя скорость ветра	0,54-0,80 (0,67)	0,28-0,54 (0,41)	0,28	1,36
10.Высота снежного покрова	0,2-0,4 (0,30)	0,2-0,5 (0,35)	0,5-0,6 (0,55)	1,20
11.Средняя относительная влажность воздуха	0,11-0,20 (0,16)	0,05-0,11 (0,08)	0,05-0,07 (0,06)	0,30
12.Среднее число дней с туманами	0,19-0,23 (0,21)	0,07-0,23 (0,15)	0,11	0,47
Итого:	4,48	4,76	5,12	13,75

Из таблицы видно, что основными факторами, определяющими климат области, являются среднегодовая температура воздуха (сумма баллов с учетом весового коэффициента – 2,11). На втором месте находится минимальная температура воздуха (1.93), на последнем – среднее число дней

с туманами (0.47), дни перехода воздуха через 10°C (0.45), средняя относительная влажность воздуха (0.30).

Карта климатических районов Архангельской области приведена на рис. 8. Построенная с применением ГИС-технологий итоговая карта суммарных балльных оценок, позволяет выявить на территории Архангельской области 3 условных климатических района и 3 подрайона. Первый район занимает северную и северо-восточную часть Архангельской области (территория НАО) – сумма баллов 3.7-4.6. Климатические условия данного района определяется его расположением в арктической зоне и влиянием акватории Баренцева моря.

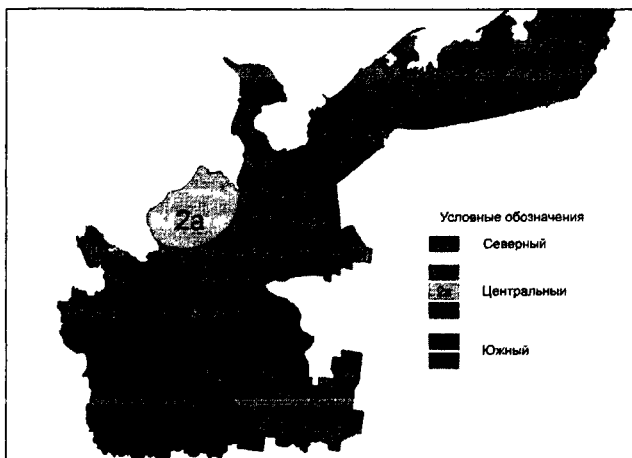


Рис. 8. Климатические районы Архангельской области.

Второй климатический район занимает центральную часть Архангельской области (4.2-4.6 баллов). Во втором климатическом районе можно выделить два подрайона – 2а (4.2-4.8) и 2б (3.6-4.2 балла). Формирование климатических условий 2а обуславливается в большей степени влиянием акватории Белого моря и большим влиянием циклонической деятельности. В этом районе увеличено влияние скорости ветра, число дней с туманами.

В подрайоне 2б отмечается ослабление влияния количества осадков, повышение влияния скорости ветра и даты перехода температуры воздуха через 0°C . Климатические условия в подрайоне 2б определяются некоторым увеличением континентальности.

Третий климатический район расположен на юго-западе области (4.4-5.6 баллов). Этот район наиболее насыщен климатическими ресурсами. В этом районе можно выделить подрайон 3а (4.6-5.6 баллов). Климатические условия этого района определяются влиянием морских атлантических воздушных масс, несущих большое количество осадков и большим количеством поступающей солнечной радиации. На климатических условиях

этого района, также сказываются особенности рельефа – Няндомская возвышенность, что приводит к большому количеству выпадающих осадков в этом районе (подрайон 3а).

Проведенное в данном районе климатическое районирование было сравнено с проведенным в 1970-1980 г.г. агрометеорологическим районированием Архангельской области. Сравнивая карты агрометеорологического районирования с картой, построенной по методике, приведенной в настоящей работе, видно, что, в целом, полученные результаты, основанные на балльном методе, не противоречат агроклиматическому районированию и позволяют получить важную информацию для конкретных отраслей экономики.

Заключение

В результате проведенных исследований получены следующие результаты:

1. Удлинение рядов метеорологических характеристик на 30 лет не внесло заметных изменений в общие закономерности пространственного распределения среднесезонных элементов метеорологического режима для территории Архангельской области.

2. Сравнение интерполяционных моделей для климатических данных, выполненное совместно с Н.В. Коноваловой, показало, что для климатических полей является предпочтительным метод кригинга, базирующийся на статистическом представлении поверхности элементов метеорологического режима.

3. Методика климатического районирования, основанная на балльных оценках метеорологических характеристик, как показало ее применение к климатическому районированию территории Архангельской области, дает не противоречивые с ранее полученными другими авторами результаты. Из этого следует вывод о ее принципиальной пригодности для тематического климатического районирования территорий под задачи обеспечения различных отраслей экономики специализированной климатической информацией.

4. По сравнению с ранее проведенным общеклиматическим районированием территории Архангельской области уточнены границы районов, особенно в юго-западной части области. Выделено три района и три подрайона (в пределах второго и третьего районов).

5. Используемые технологии при районировании показали возможность создания автоматизированной системы тематического климатического районирования территорий на базе ГИС-технологий для специализированного обеспечения отраслей экономики и различных потребителей климатической информации, в частности при проведении инженерных изысканий. Такие системы, в свою очередь, могут быть частью более общих экспертно-аналитических систем для управления природопользованием и принятия стратегических решений.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Ecological area classification in the costal zone of Arctic seas. Setting of the problem». Fifth Workshop on Land Ocean Interactions in the Russian Arctic (Loiza), Moscow, November 12-15, pp 136-138, 2002, (совместно с Коробовым В.Б.).
2. Об опыте работы Северного УГМС по специализированному гидрометеорологическому обеспечению отраслей экономики. – Метеоспектр, № 3-4, 2001, с.79-85.
3. О состоянии гидрометеорологических наблюдений в Северном УГМС. //Научная конференция по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнений окружающей среды в государствах-участниках СНГ, посвященная 10-летию образования Межгосударственного совета по гидрометеорологии, 23-26 апреля 2002г., тезисы докладов. – СПб., Гидрометеоиздат, 2002, с. 170-174.
4. История, современное состояние и перспективы развития специализированного гидрометеорологического обеспечения в Арктике Северным УГМС. Научно-практическое совещание «Гидрометеорологическое обеспечение хозяйственной деятельности в Арктике и замерзающих морях» (доклады), СПб., Гидрометиздат, 2002, с. 86-91.
5. «Новый взгляд на влияние эолового переноса на современное морское осадконакопление и окружающую среду в Арктике. Результаты исследований аэрозолей и снежного покрова». В сб. Новые идеи в океанологии, т. 2. – М.: Наука, 2004г., с. 168-214 (совместно с Шевченко В.П., Лисицыным А.П., Виноградовым А.Н., Ивановым Г.И., Ключиткиным А.А., Кривс М., Новигатским А.Н., Нютником Е.М., Политовой Н.В, Селезневым П.В., Серовым В.В., Смирновым В.В., Соколовым В.Г., Хаасом Х, Штайном Р.).
6. – Гидрометеорологические и геофизические исследования на Земле Франца Иосифа. В сб. Земля Франца Иосифа. – Архангельск, Территориальный фонд информации по природным ресурсам и защите окружающей среды МПР России по Архангельской области, 2004, с.66-76 (совместно с Катиным Ю.Н.).
7. Климатические ресурсы Архангельской области, в.сб. Климатические ресурсы и методы их представления для прикладных целей. – СПб.: Гидрометеоиздат, 2005, с. 118-123 (совместно с Водозовой Т.Е.).
8. Климатическое районирование территории экспериментально-статистическими методами. Постановка задачи. – Метеорология и гидрология, 2004, №4, с.38-48 (совместно с Коробовым В.Б.).
9. Интерполирование климатических данных при помощи ГИС-технологий - Метеорология и гидрология, 2006, №5 (совместно с Коноваловой Н.В., Коробовым В.Б.).

Сдано в произв. 12.04.2006. Подписано в печать 12.04.2006.
Формат 60×84/16. Бумага писчая. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,25.
Уч.-изд. л. 1,0. Заказ № 83. Тираж 100 экз.

Отпечатано в типографии Архангельского
государственного технического университета.

163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17