

На правах рукописи

Зиновьева Наталья Алексеевна

**МИКРОКЛИМАТИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ПРОВЕДЕНИЯ  
ЗИМНИХ ОЛИМПИЙСКИХ ИГР «СОЧИ-2014»**

Специальность: 25.00.30 – Метеорология, климатология, агрометеорология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2010

Работа выполнена в государственном учреждении «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова»

Научный руководитель:

доктор географических наук  
Пигольцина Галина Борисовна

Официальные оппоненты:

доктор географических наук  
Безуглая Эмма Юрьевна,  
кандидат географических наук  
Мосолова Галина Ивановна

Ведущая организация:

Российский государственный  
педагогический университет  
им. А.И. Герцена

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г. в \_\_\_\_ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 327.005.01 в ГУ «ГГО» по адресу: 194021, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д.7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГУ «ГГО»

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

Ученый секретарь  
совета по защите докторских  
и кандидатских диссертаций  
доктор географических наук

А.В. Мещерская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

### Актуальность темы.

Теоретические основы, методы и критерии мезо- и микроклиматической оценки территории разрабатывались в ГГО на протяжении нескольких десятилетий (Гольцберг И.А., Романова Е.Н., Мищенко З.А., Адаменко В.Н., Береснева И.А., Пигольцина Г.Б. и др.). В результате были получены обобщённые количественные значения микроклиматической изменчивости основных элементов климата для различных географических районов. Однако указанные исследования были выполнены в основном для холмистого рельефа и тёплого (вегетационного) периода.

Современные потребности различных секторов экономики выдвигают перед микроклиматологами новые задачи, решение которых требует дальнейшей разработки методов оценки микроклиматических условий конкретных территорий. К таким задачам в первую очередь относятся оценки пространственной изменчивости специализированных термических показателей зимы и характеристик снежного покрова в условиях горного рельефа. Необходимость в решении этих вопросов возникла в связи с выполнением работ по микроклиматическому описанию и районированию территории проведения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014».

Район проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» расположен на южном макросклоне Большого Кавказа в сложных физико-географических условиях и представляет собой горный район, характеризующийся значительной неоднородностью подстилающей поверхности. В этих условиях на протяжении нескольких километров могут наблюдаться значительные изменения параметров климата под влиянием абсолютной высоты над уровнем моря и форм рельефа (ориентации и крутизны склонов, относительных превышений, ширины и формы долин и т.д.).

Несмотря на то, что Кавказ относится к наиболее изученным в климатическом отношении горным районам, сложное строение рельефа создаёт исключительное разнообразие мезо- и особенно микроклиматических условий в отдельных районах Кавказа, количественная оценка которых сопряжена с трудностями как информационного, так и методического характера. Метеорологические станции, расположенные на территории со сложным (горным) рельефом, отражают микроклиматические условия того элемента рельефа, в котором они находятся, и являются репрезентативными только для аналогичных местоположений. Следовательно, на конкретных участках горного рельефа количественные значения микроклиматической изменчивости климатических характеристик без проведения специальных полевых наблюдений можно получить только косвенными методами.

В связи с этим для оценки пространственной (микроклиматической) изменчивости климатических характеристик в условиях горного рельефа исследуемого района потребовалось разработать новые методические подходы.

В настоящей диссертационной работе представлены высотная зональность в распределении основных элементов климата; микроклиматическая изменчивость и районирование расчётных зимних температур воздуха, радиационного баланса и продолжительности залегания снежного покрова горной территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» с учётом строящихся олимпийских объектов; крупномасштабные карты пространственного распределения термических характеристик воздуха, построенные с использованием ГИС-технологий.

Одним из главных условий, определяющих возможность проведения зимних спортивных соревнований, является наличие и состояние снежного покрова, которые в свою очередь зависят от температуры воздуха. Высота размещения и производительность установок по искусственному оснежению спортивных трасс также напрямую связаны с температурой воздуха. Таким образом, весьма актуальной является задача детальной оценки

микроклиматической изменчивости характеристик термического режима и снежного покрова в горном кластере района проведения Зимних Олимпийских Игр «Сочи-2014», позволяющая конкретизировать режимную гидрометеорологическую информацию для конкретных спортивных объектов.

### **Цель и задачи работы.**

Целью настоящей работы является детальная оценка микроклиматической изменчивости базовых и специализированных климатических показателей в горном кластере района проведения зимних Олимпийских Игр «Сочи-2014», микроклиматическое районирование территории с учётом строящихся олимпийских объектов и построение карт пространственного распределения климатических характеристик с использованием ГИС-технологий.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие основные задачи:

- разработать методику расчёта базовых и специализированных климатических показателей в сложных условиях подстилающей поверхности при недостаточном метеорологическом освещении местности;
- выявить закономерности пространственной изменчивости климатических показателей в горном рельефе района проведения Олимпийских игр;
- оценить количественно микроклиматическую изменчивость наиболее важных (с точки зрения цели исследования) элементов климата;
- построить микроклиматические карты территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» с учётом строящихся олимпийских объектов.

### **Методика исследований и исходная информация.**

Для решения поставленных в диссертации задач применялись многомерные статистические методы исследования микроклимата; методы расчёта микроклиматической изменчивости метеоэлементов в сложном рельефе; методы микроклиматического

районирования и картографический метод составления полей пространственного распределения климатических характеристик с использованием ГИС-технологии.

В качестве исходной информации использовались данные наблюдений сети метеорологических и актинометрических станций, как средние многолетние, так и за отдельные годы. Кроме того, использовались современные данные автоматической регистрации температуры и влажности воздуха на различных высотах над уровнем моря на горнолыжных склонах хребта Псехако и данные маршрутных наблюдений за снежным покровом на хребте Аибга.

Обоснованность и достоверность полученных в работе результатов обусловлена хорошим согласованием значений параметров, полученных расчётными методами, с данными наблюдений.

#### **Научная новизна.**

Представленная диссертационная работа является первым комплексным научным исследованием по установлению закономерностей микроклиматической изменчивости базовых и специализированных климатических характеристик в условиях горного рельефа и недостаточной метеорологической информации. При этом впервые:

- разработан метод объективной систематизации метеорологических станций по местоположениям в условиях сложного рельефа с применением кластерного анализа и принципы использования результатов кластерного анализа для формализации микроклиматических методов расчёта;

- разработан способ моделирования вертикального профиля инверсионного слоя воздуха в условиях горного рельефа;

- разработан метод оценки пространственной изменчивости продолжительности залегания снежного покрова в сложных условиях рельефа;

- установлены закономерности и получены количественные значения микроклиматической изменчивости основных климатических показателей в горном рельефе района Красной Поляны;

- выполнено микроклиматическое районирование горного кластера территории проведения Зимних Олимпийских игр в Сочи по расчётным зимним температурам воздуха и продолжительности залегания снежного покрова;

- построены крупномасштабные карты районов расположения олимпийских объектов по термическим характеристикам воздуха с использованием ГИС.

### **Практическая значимость.**

Совокупность выполненных новых научных исследований по оценке микроклиматической изменчивости в условиях сложного рельефа определяет перспективность широкого использования полученных результатов при решении как научных, так и производственных задач.

Все разработки, осуществляемые при мезо- и микроклиматическом районировании, связаны с оценкой местоположения используемых метеорологических станций, поэтому анализ местоположений метеорологических станций исследуемого региона является необходимым звеном в изыскательских работах. В связи с этим, предложенный в данной работе способ разбиения станций по условиям местоположения с помощью кластерного анализа, позволяющий выполнить их объективную систематизацию, является фундаментом для микроклиматических исследований.

Предложенный способ моделирования вертикального профиля инверсионного слоя воздуха в условиях горного рельефа может применяться для оценки распределения термических характеристик с высотой в других регионах со сложным рельефом и недостаточным метеорологическим освещением местности, например, в Восточной Сибири, где в последние годы, в связи с интенсивным инвестиционным освоением Восточно-Сибирского

региона, проблема оценки инверсионных условий конкретных районов, предназначенных для промышленного освоения, встала особенно остро.

Разработанный метод оценки пространственной изменчивости продолжительности залегания снежного покрова в сложных условиях рельефа может использоваться для характеристики снежного покрова при освоении территорий под горнолыжные курорты и их функционировании.

Полученные количественные значения микроклиматической изменчивости основных элементов климата и построенные микроклиматические карты необходимы для уточнения режимной гидрометеорологической информации для спортивных объектов.

Выявленные закономерности пространственного распределения климатических показателей могут быть использованы в качестве соответствующих микроклиматических блоков при создании ГИС-проектов данной территории.

#### **Личный вклад соискателя.**

Все представленные в работе результаты получены самим автором или при его участии. Непосредственно автором предложен и реализован метод систематизации метеорологических станций по условиям местоположения с использованием кластерного анализа; подготовлены морфометрические основы и выполнено микроклиматическое районирование; выбрана ГИС-программа и построены карты пространственного распределения термических показателей; выполнены расчеты по микроклиматической изменчивости рассматриваемых показателей.

#### **Положения, выносимые на защиту.**

1. Методика расчёта микроклиматической изменчивости базовых и специализированных климатических характеристик в сложных условиях подстилающей поверхности при недостаточном метеорологическом освещении местности.

2. Закономерности пространственной структуры радиационного режима склонов разной экспозиции и крутизны в зависимости от высоты над уровнем моря.



3. Результаты количественной оценки микроклиматической изменчивости расчётных зимних температур воздуха, радиационного баланса и продолжительности залегания снежного покрова для горного кластера района проведения олимпиады.

4. Микроклиматическое районирование территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014».

5. Использование ГИС-технологии для построения крупномасштабных карт районов расположения олимпийских объектов по термическим характеристикам воздуха.

### **Внедрение.**

Результаты исследования по теме диссертации были использованы при выполнении:

- темы НИР «Микроклиматическое районирование территории проведения Зимних Олимпийских игр 2014 г. с учётом строящихся олимпийских объектов»;

- темы НИР «Научно-методическое сопровождение Технического проекта "Гидрометеорологическое обеспечение подготовки и проведения олимпийских игр, в том числе противолавинное. Общесистемные решения" в части гидрометеорологического обеспечения»;

- «Перспективного плана мероприятий по подготовке к проведению гидрометеорологического обеспечения, мониторинга загрязнения окружающей среды и противолавинных работ в районе спортивных объектов зимних Олимпийских Игр «Сочи-2014»;

- в учебной программе курсов повышения квалификации по прикладной климатологии «Обеспечение современных потребностей различных категорий потребителей в климатической продукции и информации» в 2009-2010гг.

### **Апробация работы и публикации.**

Основные положения диссертационной работы докладывались на Всероссийской конференции «Современные проблемы климатологии», посвящённой 100-летию профессора О.А.Дроздова (2009г), на Учёном совете Главной геофизической обсерватории им.А.И.Воейкова (2008, 2009гг).

По результатам работы опубликовано 4 статьи, из них 3 статьи в реферируемых журналах, 1 статья сдана в печать.

### **Структура и объём работы.**

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованной литературы и приложения. Общий объём диссертации составляет 132 стр., включая приложение, и содержит кроме основного текста 77 рисунков и 28 таблиц. Список использованной литературы насчитывает 85 наименований на русском, английском и немецком языках.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **Введении** обосновывается актуальность темы диссертации, определены цель и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, обоснованы научная новизна и практическая значимость результатов исследования. Логика и результаты исследования представлены в главах диссертации.

**В первой главе «Методика исследований и исходная информация»** на основе литературных источников и результатов исследований, выполненных в настоящей диссертационной работе, даётся описание климата района проведения Олимпийских игр – Имеретинской низменности (Адлер) и горного кластера (Красная Поляна). Приведена характеристика используемой климатической и метеорологической информации. Разработан метод объективной систематизации метеорологических станций по условиям местоположения в сложном рельефе с применением кластерного анализа и принципы использования результатов кластерного анализа для формализации микроклиматических методов расчёта.

Западное Закавказье относится к зоне влажного климата с очень тёплым летом и мягкой зимой на побережье, с более прохладным летом и умеренно мягкой зимой в невысокой предгорной зоне и достаточно суровыми зимними условиями в высокогорной зоне.

Высокогорный район Олимпийских игр расположен в окрестностях п. Красная Поляна на склонах, прилегающих к долине реки Мзымта. Под влиянием мезомасштабных неоднородностей подстилающей поверхности формируются мезоклиматические условия, которые отличаются от зонального климата, т.е. от макроклимата. В рассматриваемом районе долина р. Мзымта разделяет территорию на два мезоклиматических района – северный и южный мезосклоны, которые в целом будут соответственно «холоднее» и «теплее» по сравнению с зональными климатическими условиями (рис. 1). В каждом из этих мезорайонов климатические показатели будут меняться под влиянием рельефа более мелкого масштаба (склоны разной экспозиции и крутизны, долины, вершины и т.д.).



Рис. 1. Картограмма горного района проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» (Красная Поляна)

Территория проведения Олимпийских игр в районе Красной Поляны расположена в разных условиях рельефа в пределах высот 500-2300м, поэтому для оценки

микроклиматических особенностей территории необходимо учитывать изменение показателей как под влиянием абсолютной высоты над уровнем моря, так и под влиянием различных форм рельефа. Для количественной оценки микроклиматических условий горного кластера территории проведения Олимпийских игр, также как и при решении большинства микроклиматических задач, необходимо, прежде всего, выполнить анализ и систематизацию метеорологических станций по условиям местоположения.

Основным источником получения сведений об особенностях местоположения станций является «История и физико-географическое описание метеорологических станций и постов». Процесс выбора станций с определённым местоположением по указанным описаниям, трудоёмкий, долгий и приводит к довольно субъективной систематизации метеорологических станций по условиям местоположения.

Оптимизировать проведение исследований и получить объективную систематизацию метеорологических станций по условиям местоположения в данной диссертационной работе предлагается с помощью метода кластерного анализа. Рассматривались 16 метеорологических станций, расположенных в условиях сложного (горного) рельефа Западного Кавказа. Кластеризация проводилась по двум параметрам: высоте станций над уровнем моря ( $H$ , м) и среднему из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_m, ^\circ\text{C}$ ). Выбор данного климатического показателя определяется тем, что  $T_m$  (как и другие минимальные температуры) является одной из наиболее чувствительных к условиям местоположения характеристик термического режима, которая изменяется в довольно широком диапазоне в зависимости от характера подстилающей поверхности, формы рельефа, относительных превышений местности, условий стока холодного воздуха.

Пошаговый процесс кластеризации производит последовательное объединение метеорологических станций в группы по степени воздействия микроклиматообразующих факторов на термический режим, которое позволяет получить информацию о местоположении

станций на всех иерархических уровнях: от непосредственного локального воздействия (обособленные кластеры) до обобщённых типов микроклимата (объединённые и крупные кластеры). Таким образом, решается задача классификации станций и выявления соответствующей структуры в ней.

В отдельный объединённый кластер выделились репрезентативные по термическому режиму станции. Результаты кластеризации совпали с выбором репрезентативных станций вручную по физико-географическому описанию, что подтверждает правомерность применения кластерного анализа для систематизации метеорологических станций по местоположениям.

Результаты кластерного анализа позволяют формализовать известные закономерности микроклиматической изменчивости расчётных зимних температур воздуха в условиях сложного рельефа для рассматриваемой территории. Для выбранных с помощью кластерного анализа репрезентативных станций была получена зависимость среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_m$ ) от высоты над уровнем моря ( $H$ ) и определены значения  $T_m$  на разных высотах (фоновые величины). Затем были вычислены отклонения  $T_m$  рассматриваемых станций от фоновых величин (на соответствующих высотных уровнях), которые по своим количественным значениям распределились согласно кластерному разбиению станций.

Известно, что для конкретных местоположений изменение среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_m$ ) с высотой местности происходит по линейной зависимости, причём линии тренда различных местоположений располагаются параллельно линии тренда для репрезентативных станций.

Учитывая эту закономерность, была выполнена формализация микроклиматической изменчивости  $T_m$  для рассматриваемой территории (рис. 2). На рис. 2 линия 1 характеризует фоновое распределение  $T_m$  с высотой, полученное по данным репрезентативных станций.

Остальные линии показывают изменение  $T_m$  с высотой для местоположений, объединённых в обособленные кластеры.

Полученные результаты были использованы в данной диссертационной работе для расчёта микроклиматической изменчивости и районирования горного района территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» по расчётным зимним температурам воздуха.

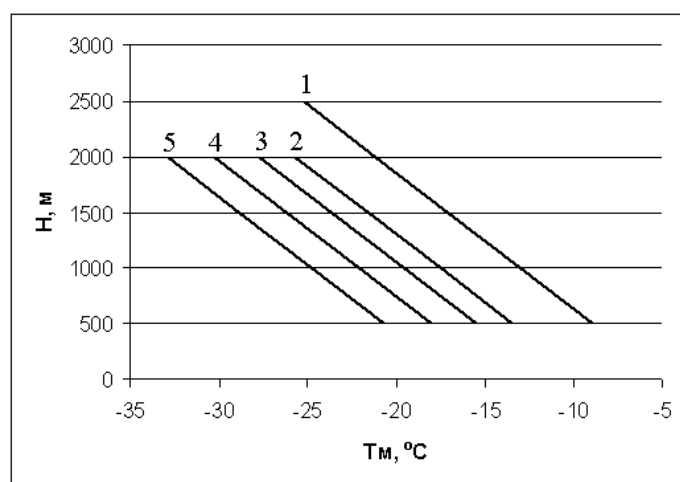


Рис. 2. Изменение среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_m$ ) под влиянием местоположения в горах Западного Кавказа.

Условные обозначения: 1 – склоны гор с хорошим воздухообменом, открытые горные плато; 2 – нижние части склонов широких (3 - 4км) и котловинообразных долин, имеющих сток холодного воздуха; 3 – возвышенные места в нешироких (до 3км) и котловинообразных долинах с затруднённым стоком холодного воздуха; 4 – узкие (до 1км), извилистые долины; 5 – замкнутые части очень узких долин, котловины.

В Главе 2 «**Микроклиматическая изменчивость базовых и специализированных термических характеристик воздуха в условиях сложного рельефа**» изложена методика оценки микроклиматической изменчивости термических характеристик в сложных условиях подстилающей поверхности при недостаточном метеорологическом освещении местности. Разработан способ моделирования вертикального профиля инверсионного слоя воздуха в

горном рельефе. Выявлены и оценены количественно закономерности пространственной изменчивости базовых и специализированных показателей термического режима воздуха в рассматриваемом районе. Выполнено микроклиматическое районирование горного кластера территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» по расчётным зимним температурам воздуха.

Согласно полученному вертикальному распределению средней и средней максимальной температуры воздуха для февраля и марта (месяцы проведения Олимпийских игр), средняя температура имеет отрицательные значения в феврале, начиная с уровня 600м, а выше 1800м отрицательные значения имеет даже средняя максимальная температура. В марте средние суточные температуры ниже нуля наблюдаются выше 1450м, средние максимальные – выше 2200м, т.е. в марте практически на всей территории горного кластера средние максимальные температуры становятся положительными.

Основными климатическими показателями, наиболее полно характеризующими условия зимы по термическому режиму и используемыми при строительном проектировании являются расчётные зимние температуры воздуха: средний из абсолютных годовых минимумов температуры ( $T_m$ ), температура самой холодной пятидневки ( $T_p$ ), зимняя вентиляционная температура ( $T_v$ ).

Самые низкие температуры воздуха (абсолютный минимум и соответственно  $T_m$  и  $T_p$ ) в долинах наблюдаются, как правило, при инверсиях и зависят от местных условий формирования температурных инверсий, поэтому для рассматриваемого горного кластера необходимо было определить вертикальные профили расчётных зимних температур. На основе выполненной в главе 1 формализации микроклиматических методов расчёта термических показателей был разработан способ моделирования вертикального профиля инверсионного слоя воздуха в условиях сложного рельефа при недостаточном метеорологическом освещении местности, с помощью которого были определены вертикальные профили температуры самой

холодной пятидневки ( $T_{п}$ ) и соответственно среднего из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_{м}$ ) на разных участках долины р.Мзымта. В результате на территории горного кластера было выделено 2 района, различающихся по условиям формирования минимальных температур воздуха. Район 1 включает широкий участок долины р. Мзымта (от западной окраины посёлка Красная Поляна до посёлка Эсто-Садок) и прилегающие к нему склоны. К району 2 относится вся территория, расположенная восточнее поселка Эсто-Садок. Это территория с узкими глубокими долинами, характеризующимися затруднённым стоком холодного воздуха. Граница между районами проходит по водоразделам. Наибольшие различия минимальных температур между выделенными районами соответствуют дну долин. С высотой эти различия уменьшаются и выше уровня инверсии (1500м) изменение минимальных температур с высотой одинаково для всего горного кластера.

Используя полученное вертикальное распределение температуры и известную типизацию мезо- и микроклиматической изменчивости термического режима зимой в холмистом и горном рельефе, были определены количественные значения микроклиматической изменчивости расчётных зимних температур воздуха в зависимости от форм рельефа и выполнено микроклиматическое районирование территории проведения Зимних Олимпийских игр по температуре самой холодной пятидневки ( $T_{п}$ ) (рис. 3). В целом в пределах рассматриваемой территории температура самой холодной пятидневки изменяется от  $-10,5^{\circ}\text{C}$  до  $> -17^{\circ}\text{C}$ .

По карте  $T_{п}$  можно также определить для каждого района средний из абсолютных годовых минимумов температуры воздуха ( $T_{м}$ ) и вентиляционную зимнюю температуру ( $T_{в}$ ), поскольку между данными характеристиками существует линейная зависимость, а относительные величины микроклиматической изменчивости для указанных показателей одинаковы.



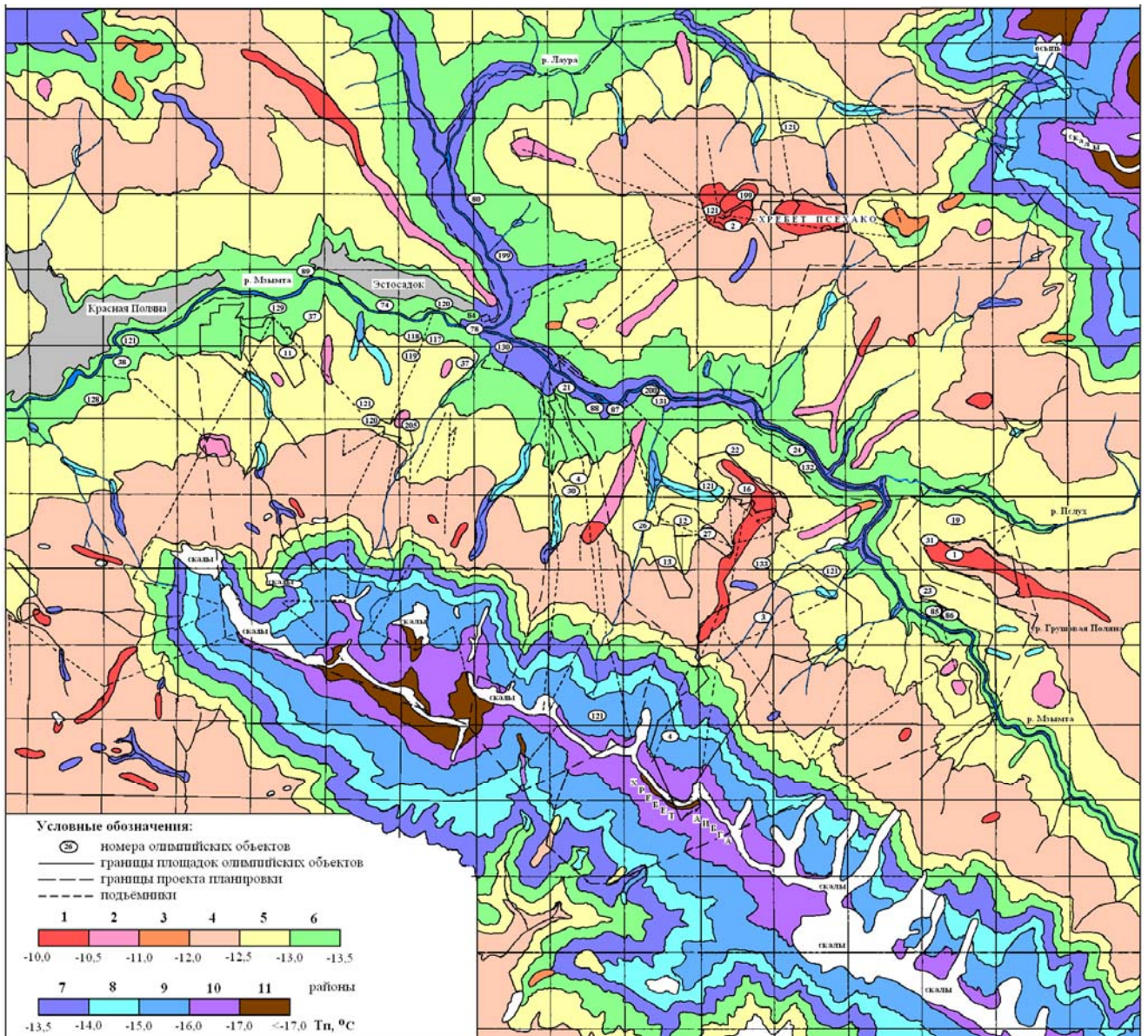


Рис. 3. Микроклиматическое районирование горного кластера территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» по температуре самой холодной пятидневки ( $T_{п}$ )

В Главе 3 «Микроклиматическая изменчивость радиационного баланса в условиях горного рельефа» установлены закономерности и выполнена количественная оценка изменения радиационного режима склонов разной экспозиции и крутизны в зависимости от высоты над уровнем моря. Построена микроклиматическая карта участка хребта Аибга, по годовым суммам радиационного баланса.

В условиях сложного (горного) рельефа неравномерное распределение солнечной радиации по склонам разной экспозиции и крутизны приводит к большим микроклиматическим различиям в радиационном нагреве различных участков рельефа, что, в частности, сказывается на продолжительности залегания снежного покрова. Таким образом, для характеристики пространственного распределения продолжительности залегания снежного покрова в горном рельефе необходимо выполнить количественную оценку микроклиматической изменчивости радиационного баланса.

В настоящей работе получены количественные значения годовых сумм радиационного баланса для склонов 8 экспозиций крутизной 10-50° и установлены закономерности их изменения в зависимости от абсолютной высоты над уровнем моря для территории Западного Кавказа. Для этих целей были выполнены расчёты прямой, рассеянной, отражённой, суммарной радиации, эффективного излучения и радиационного баланса при средних условиях облачности для 12 месяцев и в целом за год по данным актинометрических станций, расположенных в условиях горного рельефа.

В результате проведённых расчётов было установлено, что с увеличением высоты над уровнем моря различия в годовых суммах радиационного баланса между склонами соответствующей крутизны на южных, юго-восточных (юго-западных), восточных (западных) склонах возрастают. Для северных склонов крутизной 10-30° также характерно увеличение контрастов, а на более крутых северных склонах различия уменьшаются.

На основе полученных данных по изменению годовых сумм радиационного баланса на склонах разной экспозиции и крутизны на различных высотах была выполнена детальная площадная оценка пространственного распределения радиационного баланса и построена микроклиматическая карта участка хребта Аибга.

В Главе 4 «Микроклиматическая изменчивость продолжительности залегания снежного покрова в условиях горного рельефа» разработан метод детальной оценки продолжительности залегания снежного покрова в условиях горного рельефа, определён диапазон микроклиматической изменчивости и выполнено районирование горного района территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» по продолжительности залегания снежного покрова.

Для территории проведения Зимних Олимпийских игр, как и для горнолыжных курортов вообще, одним из главных климатических показателей является характеристика снежного покрова. Детальное пространственное распределение продолжительности залегания снежного покрова на конкретных участках горного рельефа без проведения специальных микроклиматических наблюдений можно получить только косвенными методами.

В данной работе установлена зависимость между продолжительностью залегания снежного покрова, с одной стороны, и годовыми суммами радиационного баланса и длительностью периода с отрицательным радиационным балансом, с другой. Полученные зависимости универсальны, поскольку пригодны для расчётов продолжительности залегания снежного покрова, как на горизонтальной поверхности, так и на склонах разной экспозиции и крутизны, для любой высоты над уровнем моря.

На основе указанных зависимостей и рассчитанных в главе 3 значений годовых сумм радиационного баланса была выполнена количественная оценка продолжительности залегания снежного покрова на склонах разной экспозиции и крутизны в пределах высот 500-2300 м и построена микроклиматическая карта территории проведения Зимних Олимпийских игр (рис. 4). Диапазон изменения продолжительности залегания снежного покрова достигает на данной территории 300 дней. Для сравнения: изменение продолжительности залегания снежного покрова по высоте от уровня 500м до 2300м без учёта экспозиции и крутизны склонов (т.е. на

ровном месте) составляет 123 дня. Таким образом, изменение данного показателя за счёт микроклимата в 2,5 раза превышает изменение по всему вертикальному профилю.

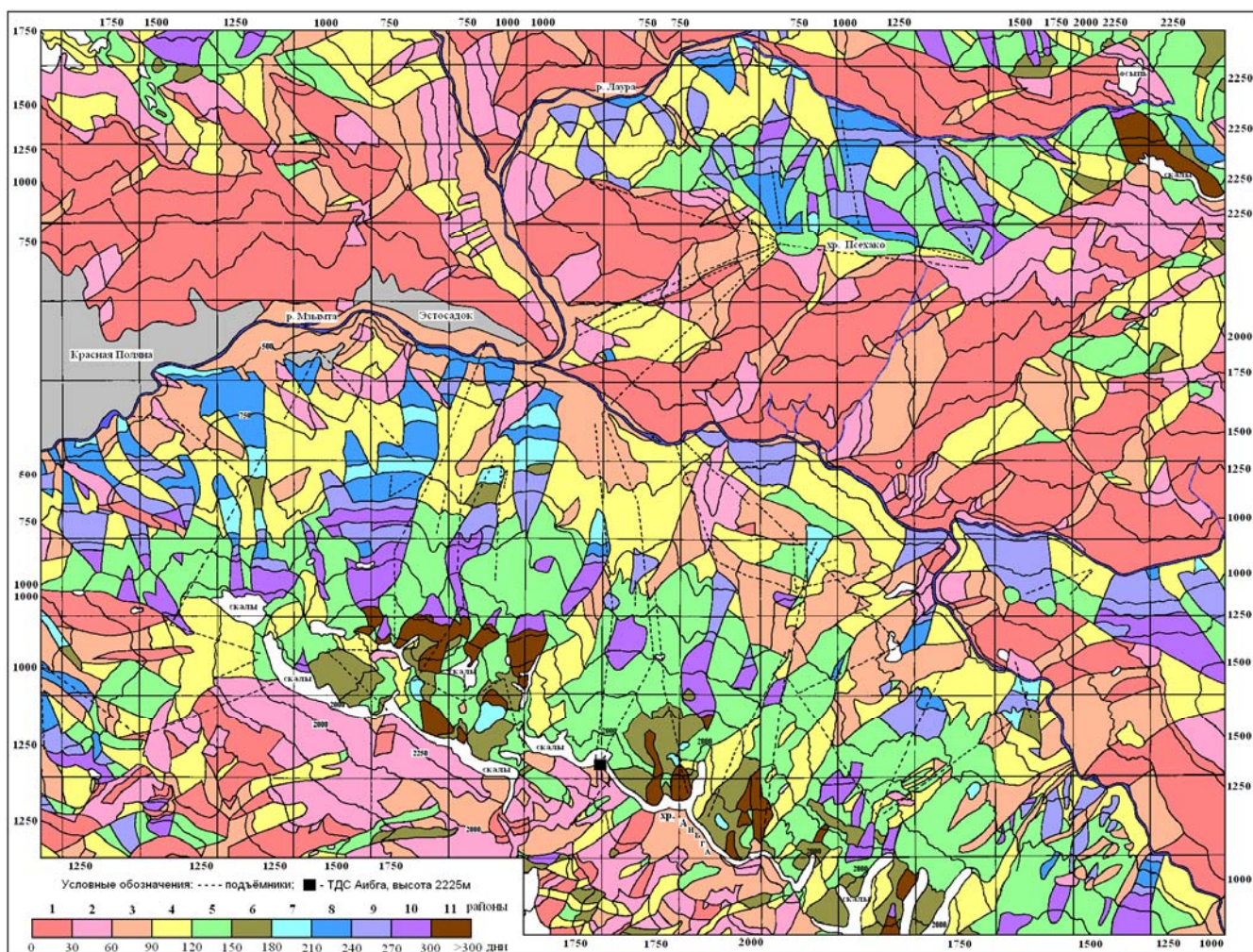


Рис. 4. Микроклиматическое районирование горного кластера территории проведения Зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» по продолжительности залегания снежного покрова

Глава 5 «Построение микроклиматических карт с использованием ГИС-технологий» посвящена созданию микроклиматических карт по основным и специализированным термическим характеристикам воздуха на основе полученных закономерностей микроклиматической изменчивости этих характеристик в условиях горного рельефа и использования ГИС-технологий.

В данной диссертационной работе с помощью геоинформационной системы Golden Software Surfer 8 построены трёхмерные и изолинейные карты распределения температуры самой холодной пятидневки, средней месячной, средней максимальной, средней минимальной температуры воздуха для февраля и марта (месяцы проведения Олимпийских игр) для районов размещения спортивных комплексов Роза Хутор, Альпика-Сервис, Горная Карусель (северный склон хребта Аибга), горно-туристический центр ОАО «Газпром» (хребет Псехако), Биатлонный комплекс «Юрьев Хутор» (Грушевая Поляна).

На рис. 5 в качестве примера приведена объёмная карта по температуре самой холодной пятидневки для хребта Псехако.

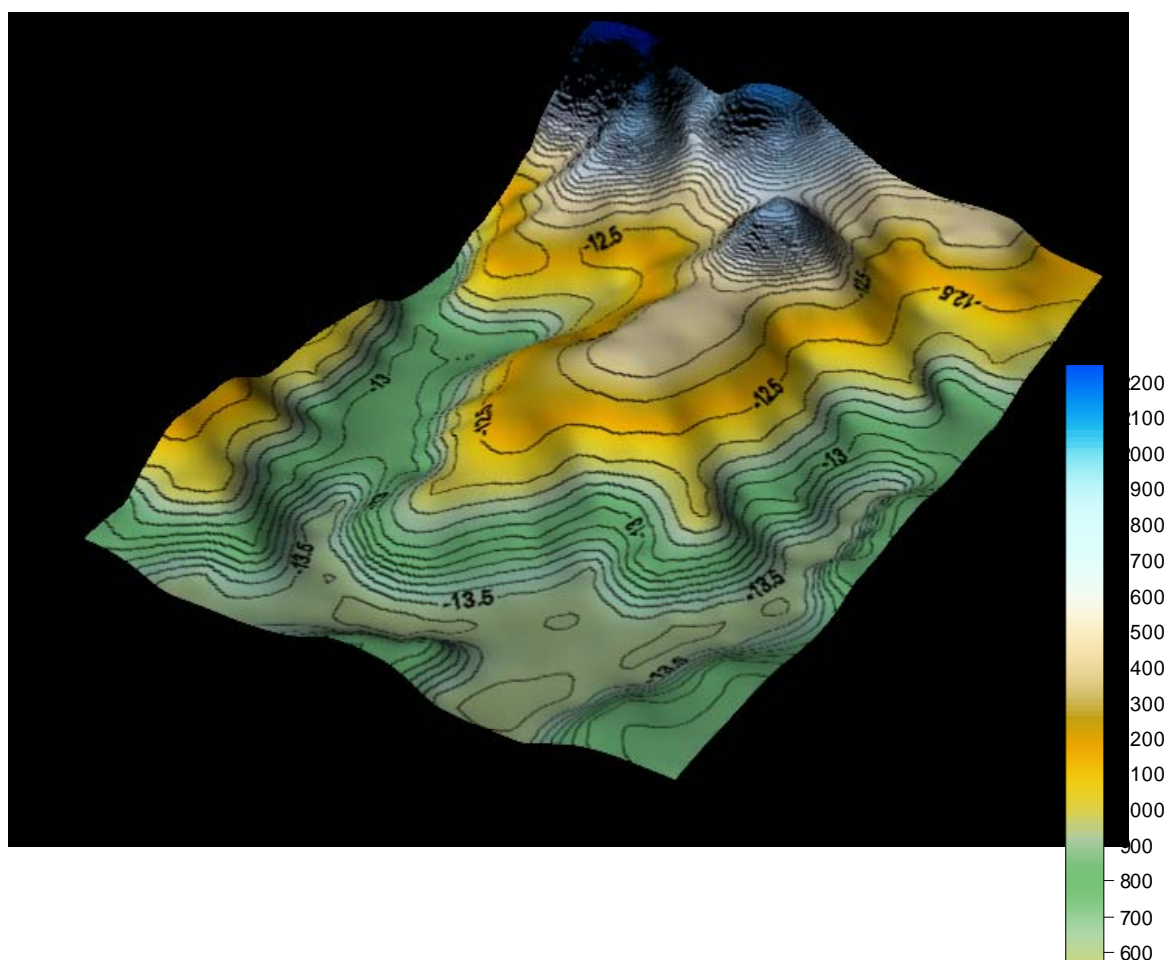


Рис. 5. Трёхмерная карта температуры самой холодной пятидневки.

Участок «Горно-туристический центр ОАО «Газпром» (хр. Псехако)

## Основные результаты работы

Результаты выполненных исследований позволяют дать детальную количественную оценку микроклиматических ресурсов в условиях сложного рельефа и дефицита метеорологической информации и могут быть использованы при создании ГИС-проектов в качестве соответствующих микроклиматических блоков.

Установленные закономерности пространственной изменчивости микроклиматических показателей, полученные относительные значения микроклимата и разработанные микроклиматические карты применяются для уточнения режимной гидрометеорологической информации и прогнозов состояния погоды в период проведения Зимних Олимпийских игр для конкретных спортивных объектов, расположенных в горном районе Красной Поляны.

Конкретные результаты работы заключаются в следующем:

1. Разработаны методы расчёта микроклиматической изменчивости базовых и специализированных климатических характеристик в сложных условиях подстилающей поверхности при недостаточном метеорологическом освещении местности:

- объективной систематизации метеорологических станций по условиям местоположения в сложном рельефе с применением кластерного анализа;
- формализации микроклиматических методов расчёта на основе результатов кластерного анализа;
- моделирования вертикального профиля инверсионного слоя воздуха в горном рельефе;
- оценки микроклиматической изменчивости продолжительности залегания снежного покрова в сложных условиях рельефа.

2. Выявлена пространственная структура и определён диапазон микроклиматической изменчивости необходимых для строительства и эксплуатации олимпийских объектов климатических показателей:

- расчётных зимних температур воздуха: температуры самой холодной пятидневки, среднего из абсолютных годовых минимумов температуры, вентиляционной зимней температуры;

- термических характеристик воздуха: средних, средних минимальных, средних максимальных температур;

- радиационного баланса;

- продолжительности залегания снежного покрова.

3. Выполнено микроклиматическое районирование горного кластера территории проведения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» с учётом строящихся олимпийских объектов:

- по расчётным зимним температурам воздуха;

- по продолжительности залегания снежного покрова.

4. Построены крупномасштабные карты районов расположения олимпийских объектов по термическим характеристикам воздуха с использованием геоинформационной системы Golden Software Surfer 8 (28 карт).

#### **Список опубликованных работ по теме диссертации**

- 1. Зиновьева Н.А. Микроклиматические особенности территории проведения зимних Олимпийских игр «Сочи-2014» и методы их оценки. / Пигольцина Г. Б., Зиновьева Н.А. // Труды ГГО, 2009, вып.559, С. 58-77.**

2. Зиновьева Н.А. Микроклиматическое районирование территории проведения зимних олимпийских игр «Сочи-2014». / Пигольцина Г. Б., Зиновьева Н.А. // Общество. Среда. Развитие. 2010, № 1. – С. 165-170.
3. Зиновьева Н.А. Систематизация метеорологических станций по условиям местоположения с помощью метода кластерного анализа. / Зиновьева Н.А., Пигольцина Г.Б. // Труды ГГО, 2010, вып. 561, С. 145-153.
4. Зиновьева Н.А. Методы оценки микроклиматической изменчивости специализированных климатических характеристик в условиях горного рельефа при недостаточной метеорологической информации на примере территории проведения зимних Олимпийских игр «Сочи – 2014» / Пигольцина Г. Б., Зиновьева Н.А. // Современные проблемы климатологии. Материалы Всероссийской конференции посвященной 100-летию профессора О.А.Дроздова, 20-22 октября 2009 г. // СПб.: ВВМ, с.124-126.