

**ФГБОУ ВПО «ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Кафедра метеорологии и охраны атмосферы

На правах рукописи

Исаков Сергей Викторович

**КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МИКРОКЛИМАТА С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И
СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ**

25.00.30 – метеорология, климатология, агрометеорология

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата географических наук

Научный руководитель

к. г. н., доц. В.А. Шкляев

Пермь – 2015

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. МИКРОКЛИМАТ	10
1.1. Понятие микроклимата и мезоклимата	10
1.2. Микроклимат современного города и его особенности	14
1.3. Современное состояние исследований микроклимата	17
2. МЕТОДИКА ПРОИЗВОДСТВА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	25
2.1. Особенности производства микроклиматических исследований	25
2.2. Оценка особенностей рельефа с использованием расчетных методов	27
2.3. Методика оценки особенностей подстилающей поверхности	29
2.4. Методика оценки радиационного режима	48
2.5. Теоретические основы оценки режима облачности.....	54
2.6. Методика оценки ветрового режима	58
2.7. Комплексная оценка, реализованная в геоинформационной среде	64
3. ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФА И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ	68
3.1. Восстановление рельефа по космическим снимкам	68
3.2. Оценка особенностей рельефа.....	70
3.3. Оценка особенностей подстилающей поверхности	74
4. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ТЕРРИТОРИИ.....	87
4.1. Оценка режима облачности	87
4.2. Оценки радиационного режима	94
5. ЛОКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО И ВЕТРОВОГО РЕЖИМОВ ТЕРРИТОРИИ.....	111
5.1. Характеристика термического режима метеостанций.....	111
5.2. Характеристика ветрового режима метеостанций	118
5.3. Исследование микроклимата долины реки Данилиха	125
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	136
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	139
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	153

ПРИЛОЖЕНИЕ 2	164
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	176

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность диссертационного исследования. В настоящее время роль городов в жизни человека неуклонно возрастает. Климат города принципиально отличается от климата сельской местности. В нем формируется отличный от сельской местности температурный, ветровой и влажностный режимы, изменяется частота возникновения различных погодных явлений. Таким образом, погодные условия под влиянием городской среды могут приобретать «экстремальный характер» [27]. В городах существенно меняется: естественный тип местности, характер и свойства подстилающей поверхности, структура землепользования территорий, термическая структура и динамика приземного слоя воздуха, образуются локальные циркуляционные системы. Соответственно, данные метеостанций могут не отражать реальной картины возникающих изменений. В конечном итоге, такие изменения влияют на экологию городской окружающей среды [104, 107, 121, 122].

Вследствие таких особенностей городской территории для рациональной организации планировочных решений города закладывается зонирование его территории. Зонирование территорий, выполняемое по результатам *микrokлиматических исследований*, имеет значительное количество функциональных назначений: деление территорий для планировочно-архитектурных мероприятий, разработки улично-дорожной сети, выделение санитарно-защитных и рекреационных зон и т.п. Так, эффективная планировка территорий жилой зоны городов должна предусматривать рациональное размещение всех городских объектов. Все это способствует созданию условий для увеличения комфортности проживания. Стоит отметить, что информация о вызванных антропогенной деятельностью нарушениях земной поверхности приобретает все большую важность, особенно в условия современного изменения климата и проблемы максимального сохранения биоразнообразия в зоне влияния города, в

частности в крупных городах страны [57, 58, 78, 84, 113, 126]. Антропогенная деятельность ведет к большей фрагментации естественных поверхностей из-за их трансформации под влиянием новых свойств и характеристик, что приводит к важным экологическим последствиям [68, 89]. Например, лесные массивы и зеленые насаждения пригородов превращаются в обрабатываемые земли, между тем, большое количество уже обрабатываемых земель застраиваются или преобразовываются в земельные участки для использования в городских условиях.

Для микроклиматических исследований обычная сеть метеостанций является слишком редкой. Их можно проводить только путем организации густой сети наблюдений на небольших расстояниях и на коротких промежутках времени [56]. Поэтому такие наблюдения невозможно вести длительно в одном и том же месте. Следовательно, требуется не определить многолетний режим погоды, а выявить разность между наблюдениями исследуемой территорией и показаниями опорной постоянно действующей станции в данном районе. Для уменьшения стоимости подобных исследований целесообразно использовать как спутниковые данные, так и средства автоматической обработки информации.

В настоящее время для различных задач мониторинга и исследования экосистем применяются методы, использующие спутниковое дистанционное зондирование. В работе [7] рассмотрен круг прикладных задач решаемых по данным дистанционного зондирования MODIS. В то же время задача комплексного исследования городов в масштабах микроклимата решается не часто и нет единого методологического подхода к проведению комплексного анализа спутниковых данных в целях изучения микроклимата урбанизированных территорий. Существует достаточное количество исследований, посвященных преимущественно изучению характера землепользования и моделированию отдельных характеристик микроклимата [66, 67, 94, 116], в то время как комплексный анализ не проводится. Микроклимат же представляет собой взаимосвязанную систему, отсутствие

комплексности в исследовании которой не даст полного представления об изучаемых территориях.

Таким образом, существующие методики проведения микроклиматических исследований не являются оптимальными. Актуальность исследования обусловлена необходимостью развития, совершенствования и объединения существующих отдельных методик проведения оценки микроклимата. Это требует развития технологий автоматизированной обработки и позволяет повысить оперативность, экономичность и эффективность оценки состояния микроклимата. Современная система оценки должна основываться на широком применении ГИС-технологий и спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения.

Цель исследования – совершенствование методики проведения микроклиматических исследований и проведение комплексной оценки состояния микроклимата территорий средствами ГИС-технологий с использованием наземных и спутниковых наблюдений.

Исходя из указанной цели, решались следующие **задачи**:

1. Обобщить отечественный и зарубежный опыт исследования состояния микроклимата и определить главные направления исследования городской климатологии.
2. Разработать методы комплексной оценки состояния микроклимата на базе ГИС-технологий и спутниковых снимков.
3. Провести оценку состояния микроклимата и микроклиматических особенностей на примере различных городских территорий.
4. Определить влияние антропогенной деятельности на исследуемые экосистемы.
5. Определить применимость и дать рекомендации дальнейшего использования разработанного метода комплексного анализа использования ГИС-технологий и спутниковых снимков.

Для выполнения поставленных задач использовались такие программные комплексы, как ESRI ArcGIS, Google Earth, Google Maps, Adobe Photoshop, SAS.Planet. В качестве исходных использовались данные наблюдений авиационной метеорологической станции Пермь (далее АМСГ Пермь) и метеостанции Пермь (далее МС Пермь) (2001-2008 гг.); ежедневные синоптические бюллетени (2006-2008 гг.); данные микроклиматического обследования долины р. Данилиха; спутниковые снимки сервисов Google и USGS.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

- Результаты комплексной оценки состояния микроклимата, выполненные с использованием ГИС-технологий и спутниковых снимков.
- Разработанный комплекс методик проведения микроклиматических исследований с использованием современных технологий.
- Разработанные рекомендации по использованию современных геоинформационных систем и спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения для проведения исследований микроклимата территорий.

Научная новизна результатов исследований:

- Предложен метод комплексной оценки микроклиматических особенностей урбанизированных территорий с использованием ГИС-технологий и спутниковых снимков.
- Проведена оценка микроклиматических особенностей двух метеостанций на территории города – АМСГ Пермь и МС Пермь.
- Проведена оценка возможностей использования современных геоинформационных систем и спутниковых снимков высокого и сверхвысокого разрешения для микроклиматических исследований.

Практическая значимость полученных результатов.

Разработанный метод комплексной оценки состояния микроклимата позволит проводить исследования микроклимата без затратной организации

временной сети метеонаблюдений на небольших расстояниях, а также обеспечит возможность автоматизации большинства прикладных расчетов.

Расчетные геоинформационные слои, полученные на основе цифровых моделей рельефа и спутниковых снимков, позволят оценить динамику развития города, определить узловые точки, в которых существенно изменяется естественная структура подстилающей поверхности.

Основные идеи, заложенные в разработанный метод, могут быть использованы:

- в области строительства – на этапе проектирования промышленных объектов и жилых застроек;
- в структурах Росгидромета – для совершенствования системы мониторинга качества атмосферного воздуха и оценки уровня загрязнения воздуха;
- при региональных и локальных исследованиях климата и оценки микроклиматических ресурсов;
- при проектировании генплана для зонирования и планировки территорий;
- при определении граничных условий в существующих моделях мезомасштабного прогноза погоды.

Выполненная работа нашла научно-практическую реализацию в отчете по договору №126/2009 от 16.11.2009 с управлением по экологии и природопользованию администрации города Перми.

Основные положения и результаты диссертационной работы были представлены на конференциях:

1. III Межрегиональная научно-практическая конференция «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» (г. Пермь, 2010 г.);
2. IV Межрегиональная научно-практическая конференция «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» (г. Пермь, 2011 г.);

3. VI Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Географическое изучение территориальных систем» (г. Пермь, 2012 г.);
4. Международная научная конференция по региональным проблемам гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды (г. Казань, 2012 г.);
5. VII Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Географическое изучение территориальных систем» (г. Пермь, 2013 г.);
6. Вторая Всероссийская научная конференция (с международным участием) «Окружающая среда и устойчивое развитие регионов» (г. Казань, 2013 г.);
7. Всероссийская конференция «Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов» (DPRS'13) (г. Барнаул, 2013 г.);
8. VI Межрегиональная научно-практическая конференция «Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края» (г. Пермь, 2013 г.);
9. IX Всеукраинская научно-практическая конференция «Молодые ученые – географической науке» (г. Киев, 2013 г.).

Результаты исследований, выполненных по теме диссертации, изложены в 14 публикациях: 4 статьи в научных журналах (2 статьи в журналах из списка ВАК), 7 статей в сборниках научных трудов, 3 публикации тезисов конференций.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения. Основной текст изложен на 152 страницах. Работа содержит 41 рисунок, 28 таблиц, список литературы из 146 наименований и приложения на 26 страницах.

1. МИКРОКЛИМАТ

1.1. Понятие микроклимата и мезоклимата

Климат местности можно представить как характерный для нее многолетний режим погоды, обусловленный солнечной радиацией, ее преобразованиями в деятельном слое земной поверхности и связанной с ними циркуляцией атмосферы и океанов. Основные преобразования солнечной энергии происходят вблизи подстилающей поверхности почвы или воды в слое ниже поверхности растений, называемом деятельным слоем (или условно деятельной поверхностью) [9]. Неоднородность деятельной поверхности ведет к возникновению особенностей метеорологического режима, которые даже в близкорасположенных пунктах могут иметь различный характер [32, 33, 36, 49].

В то же время особенности деятельной поверхности имеют достаточно большую горизонтальную протяженность порядка десятков километров, их влияние не может в заметной степени распространиться на всю тропосферу по вертикали и на определенной высоте воздействия различных участков деятельной поверхности смешиваются. Следовательно, характер погоды, зависящий от процессов большого масштаба, остается одним над участками с различной деятельной поверхностью. Таким образом, данные различия обусловлены особенностями одного климата. Отсюда следует, что в зависимости от масштабов горизонтальной протяженности неоднородностей строения деятельной поверхности существует деление климата на составляющие. Высказываются различные мнения по вопросу такого деления.

Так, локальные особенности климата, обусловленные неоднородностью строения подстилающей поверхности и существенно изменяющиеся уже на небольших расстояниях, обычно называют микроклиматом. Этого деления придерживались О.А. Дроздов, И.А. Гольцберг [9, 32, 33].

Некоторые авторы (Р. Гейгер, С.А. Сапожникова, С.П. Хромов и др.) кроме микроклимата предлагают выделять еще и местный климат, или мезоклимат [8, 51]. Граница между микроклиматом и мезоклиматом проводится исходя из масштабов неоднородностей подстилающей поверхности.

Вследствие трудностей разграничения масштабов мезо- и микроклимата большинство авторов склоняется к точке зрения использования только понятия «микроклимат», объединяя при этом все локальные особенности климата в силу лучшей обоснованности термина «микроклимат».

Тем не менее термин «мезоклимат» широко используется в специальной литературе, посвященной изучению локальных особенностей климата различных типов подстилающих поверхностей. Наиболее характерно деление климата на составляющие представлено Е. Н. Романовой [47, 48, 50]. Для разделения климата на составляющие были предложены критерии, отличающие мезо- и микроклимат в зависимости от масштаба горизонтальных и вертикальных возмущений (табл. 1.1).

По Романовой, мезоклимат – это климат сравнительно небольших территорий, достаточно однородных по природным условиям. Мезоклимат в большей степени определяется особенностями подстилающей поверхности на конкретной территории. Такими особенностями могут являться: топография, растительный покров, городская застройкой, характер почвы и др. Влияние этих особенностей наиболее заметно в нижнем слое атмосферы протяженностью нескольких сотен метров. С увеличением высоты влияние сглаживается. Мезоклиматические особенности формируются под действием макромасштабных и мезомасштабных неоднородностей большой площади. Горный рельеф, океаны, моря относятся к макромасштабным неоднородностям, к мезомасштабным – большие города, реки, озера, холмистый рельеф [31, 47].

Критерии распределения мезо-, микроклимата (Е.Н. Романова) [9]

Неоднородности подстилающей поверхности		Масштаб возмущений	
Тип	Характеристика	Горизонтальный	Вертикальный
Мезоклимат			
Горный рельеф Холмистый рельеф Реки Озера, моря, океаны Почвенно-растительный покров Большой город	Система гор Массивы площадью более 100 км ² Ширина более 1 км Площадь зеркала 50-100 км ² Массивы площадью более 100 км ² Районы города	<100 км	<1000 м
Микроклимат			
Горный рельеф Холмистый рельеф Реки Озера, пруды Почвенно-растительный покров Город, поселок	Отдельные участки Отдельно стоящие холмы или группы холмов Ширина более 1 км Площадь зеркала менее 50 км ² Массивы площадью менее 100 км ² Элементы застройки, отдельные здания, улицы	<10 км	100-200 м
Наноклимат			
Микровозвышения и микропонижения (бугры, кочки, гребни, борозды, западины)	Отдельные неровности с перепадом высот, измеряемым единицами и десятками сантиметров	1-3 м	<0,5 м

Обобщая данные зарубежной литературы, классификация представлена

следующими пространственными критериями (табл. 1.2) [8, 24].

Таблица 1.2

Критерии распределения климата на составляющие

Масштаб	Протяженность	Площадь	Описание
Микро	1 м - 1 км	$1 \text{ м}^2 - 1 \text{ км}^2$	Локальный (топоклимат)
Мезо	1 км - 100 км	$1 \text{ км}^2 - 10\,000 \text{ км}^2$	Региональный
Макро	100 км - 10 000 км	$10\,000 \text{ км}^2 - 100\,000\,000 \text{ км}^2$	Континентальный
Мега	> 10 000 км	$>100\,000\,000 \text{ км}^2$	Глобальный

Таким образом, подобное разделение по пространственным масштабам близко к характеристикам табл. 1.1: региональный макроклимат сходен с мезоклиматом, топоклимат с микроклиматом.

Микро- и мезоклиматические различия территории проявляются, прежде всего, в особенностях радиационного баланса на конкретном участке подстилающей поверхности, создавая при этом различия и других климатических элементов.

Изменения климатических ресурсов при наличии микро- и мезоклиматических неоднородностей на небольших расстояниях могут быть значительнее, чем при изменении климатических зон. Широтные изменения таких радиационных характеристик, как прямая радиация, радиационный баланс и др. намного меньше различий, наблюдаемых на южных и северных склонах крутизной порядка 10° . Для показателей термического режима воздуха подобные соотношения сохраняются так же. Несколько меньше различия в температуре почвы [49, 50].

Возникновение микроклимата в приземном слое воздуха связано с турбулентными процессами в атмосфере как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях. Так, в приземном слое отмечаются резкие

колебания значений метеорологических характеристик, имеющие в большинстве случаев случайный характер и являющиеся следствием турбулентных движений в атмосфере. Процесс вихреобразования, который возникает у земной поверхности, зависит от нескольких параметров, характеризующих энергию вихрей и их масштабы. С удалением от земной поверхности масштаб вихрей растет, так как наличие подстилающей поверхности ограничивает их размеры [9, 11, 12, 34, 145, 146].

При исследовании микро- и мезоклимата территории необходимо учитывать и особенности метеорологических процессов, возникающих на рассматриваемой территории. Учет масштаба позволит выявлять наиболее значимые метеорологические явления в конкретном пространственно-временном приближении.

1.2. Микроклимат современного города и его особенности

Климат большого современного города представляет собой довольно протяженную мезонеоднородность, тем самым он проявляется в локальной атмосферной зоне [9, 24, 25, 121]. На отдельных улицах и площадях формируются микроклиматические условия, определяемые городской застройкой, уличными покрытиями, распределением растительности, промышленных других объектов.

Городская климатология относится к конкретному разделу климатологии, рассматривающему процессы, связанные с взаимодействием между городскими районами и атмосферой. Городская климатология получила большой импульс в развитии в последнее столетие в связи с глобальной индустриализацией и урбанизацией. Процесс урбанизации видоизменяет естественную среду и вызывает изменения в энергетическом балансе, влажности и режиме циркуляции вблизи земной поверхности.

Для города можно считать, что наиболее активными действующими климатическими факторами являются инсоляционное и радиационное

воздействие солнечной энергии. Таким образом, опосредованно, основной вклад в формирование мезоклиматических особенностей мегаполисов вносит антропогенное загрязнение атмосферы твердым аэрозолем и парниковыми газами. Вследствие загрязнения воздушного бассейна на территории города понижено эффективное излучение и, следовательно, затруднено ночное выхолаживание. В совокупности с измененными свойствами подстилающей поверхности это приводит к возникновению разности температур между городом и пригородными территориями [96, 104, 117].

Таблица 1.3

**Различия дневной температуры (°С) между городом и аэропортом
(г. Балтимор, 1971-1975 гг.) [103]**

День	Зима	Лето
Понедельник	0,9	2,0
Вторник	1,0	1,3
Среда	0,8	1,6
Четверг	0,7	1,4
Пятница	0,7	1,4
Суббота	0,4	1,7
Воскресенье	0,2	2,2
Среднее	0,7	1,6

Способ выявления острова тепла – это сравнение температурного ряда аэропорта, который чаще всего находится за городом, и ряда городской метеостанции (табл. 1.3). Одни из первых исследований по такому принципу можно увидеть в работах [85, 92]. Но этот метод дает приблизительную оценку и зависит от многих косвенных факторов [9].

В работе [41] сформулировано мнение о том, что определяющую роль в повышении температуры воздуха в городе, т.е. в формировании острова тепла, играют метеорологические факторы, в первую очередь, уменьшение

эффективного излучения за счет увеличения содержания водяного пара. Влияние же прямых выбросов тепла более чем на порядок меньше влияния метеорологических факторов.

В исследованиях разных авторов [71, 77, 114] указывается, что тепловое влияние городов четко проявляется в пределах 500-метрового слоя. Пространственная структура острова тепла представлена на рис. 1.1. Контрасты температуры наиболее ярко проявляются в ясную спокойную погоду и исчезают в условиях облачности и сильного ветра [9, 124, 125].

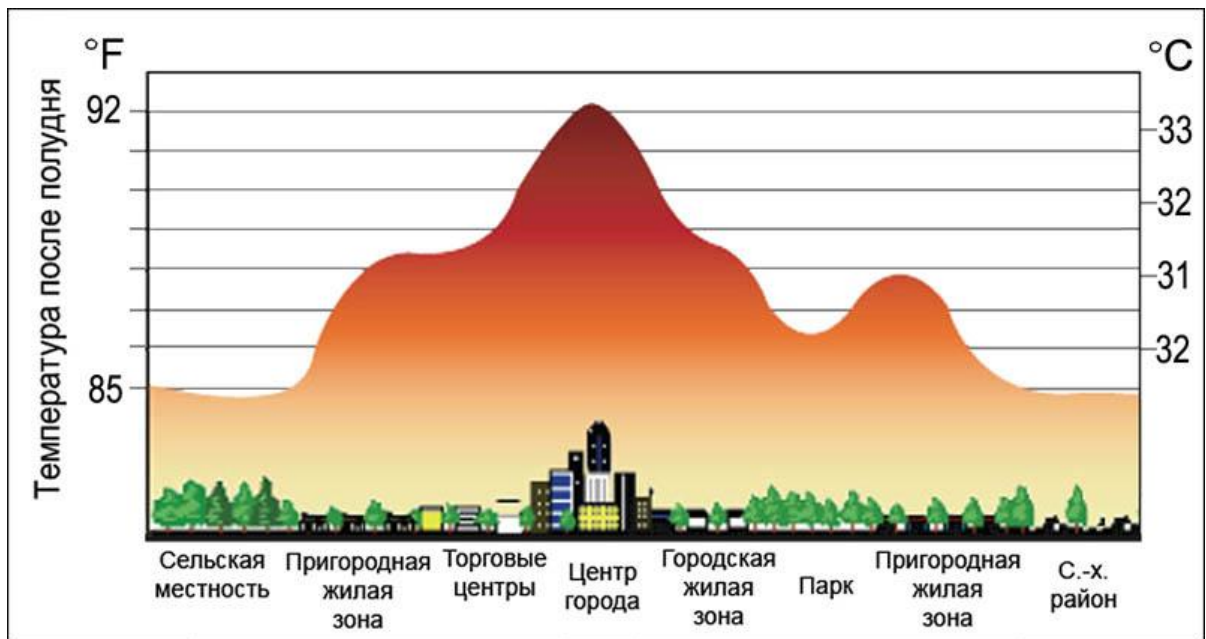


Рис. 1.1. Пространственная структура острова тепла [2]

Влияние городского острова тепла и городской среды на местные метеорологические условия является наиболее обширным и одним из основных направлений изучения городской микроклиматологии.

Наличие острова тепла и шероховатость подстилающей поверхности также являются причиной возникновения особенностей ветрового режима в городских условиях.

Существует достаточное количество исследований, где отмечается снижение скорости ветра в городе по сравнению с открытой территорией. Такие исследования (табл. 1.4) преимущественно проводятся путем сравнения данных наблюдений в городе и аэропорте [70, 80]. Однако в

некоторых случаях в городе возможно усиление скорости ветра, например, в городах, расположенных на холмистой территории, при направлениях ветра, совпадающих с направлением улицы, ограниченной многоэтажными зданиями [9].

Таблица 1.4

**Среднесезонная скорость ветра (м/с) города и аэропорта
(г. Лондон, 1961-1962) [70]**

Сезон	01.00 ч.		13.00 ч.	
	Аэропорт	Город	Аэропорт	Город
Зима	2,5	2,9	3,1	2,7
Весна	2,2	2,3	3,1	1,9
Лето	2,0	2,6	2,7	2,0
Осень	2,1	2,3	2,6	2,0
Год	2,2	2,5	2,9	2,2

1.3. Современное состояние исследований микроклимата

Основоположником городской климатологии считается L. Howard [95]. Его книга «Климат Лондона» является первым из исследований влияния городов на человека. Проведено исследование климата в обозначенных пределах, а также анализ масштабов таких влияний и тенденций изменений. В работе содержится непрерывная серия ежедневных наблюдений с 1801 по 1841 гг. за направлением ветра, атмосферным давлением, максимальной температурой и количеством осадков. Одно из самых значимых его открытий заключалось в том, что он заметил разницу между температурой в центре города и в его предместьях.

В период с 40-х по 70-е годы XX века ключевые результаты исследований: использование статистического анализа в области микроклиматологии, работы о ядрах конденсации, выявление связи ядер конденсации с уровнем загрязнения, определение влияния урбанизации на

климат, попытки выявления причин возникновения эффекта городского острова тепла [25, 105-107, 118, 123, 135].

В 80-е годы работы Т. Оке дали новый вектор развития в этой области [121, 122]. Главной целью его исследования является выяснение физической основы воздействия человека на климат. Изменения, вызванные развитием городов, требуют понимания процессов обмена и баланса тепла, массы и импульса, как они преобразуются под воздействием других процессов, которые приводят городской ландшафт в их текущее состояние. Это означает, что исследования проводятся в диапазоне атмосферных масштабов (от микро- до мезомасштаба). Так же рассматриваются климатические эффекты таких изменений, которые вызываются опосредованно. Работы Оке ставят цель улучшить понимание причин таких явлений и убедиться, что возникающие эффекты должным образом оценены и связаны с их генезисом. Также в исследованиях Оке отмечается, что для моделирования потоков влаги и тепла над однородными поверхностями (асфальтированные и водные поверхности, лесные насаждения) возможно использование ограниченного описания подстилающей поверхности на уровне теплофизических свойств и шероховатости. В то время как моделирование городской застройки требует использования более сложной параметризации с учетом геометрической структуры застроенных территорий и фактического распределения типов подстилающей поверхности в узлах расчетной сетки [121].

Оке разработана теория, в соответствии с которой городской каньон может быть представлен в виде упрощенной геометрической структуры в форме улицы в профильном разрезе. Выделяется две части: стены домов (края фигуры) и сама улица (днище фигуры). Главные параметры структуры – соотношение ширины улицы к высоте стен зданий, а также ориентация осевой линии [120].

Таким образом, модели каньонов впервые были использованы с целью классификации механизмов, отвечающих за образование городского острова тепла. Это был следующий шаг от изучения влияния отдельных зданий к

исследованию структуры зданий, составляющих улицу. Модели городских каньонов также были использованы для оценки влияния геометрии каньонов на городской климат.

В настоящее время активно изучается связь метеорологического режима городского каньона и его параметров и характеристик. Большинство существующих моделей городского пограничного слоя рассматривают каньон как одну из форм подстилающей поверхности. Т.е. учет характеристик происходит преимущественно на климатическом временном масштабе.

Существуют работы, в которых предлагается способ расчета теплового баланса, подходящий для территорий с не радиальной застройкой. Радиальная застройка накладывает ограничения на предлагаемый способ расчета, так как осреднение корректно только для среднесуточных величин, что фактически соответствует климатическим прогнозам [20, 112].

Стоит отметить попытки параметризации городской застройки для мезомасштабных моделей, например WRF [131]. В дальнейшем такая параметризация позволит проводить более детализированное прогнозирование на крупном пространственном масштабе. Это позволит изучать микроклимат уличных кварталов и микрорайонов в оперативном временном масштабе. С учетом этого последние исследования в области моделирования микроклимата были проведены для территории города Москвы [20, 128]. Учет разнообразных типов подстилающей поверхности для мезомасштабной модели проводился на сетке с разрешением 500 метров. На основе этого был проведен анализ характера землепользования территорий города.

Исследования особенностей микроклимата городских территорий в целях параметризации мезомасштабных моделей требуют детальный учет типов и характеристик подстилающей поверхности, учет структуры городских каньонов, интенсивности воздействия солнечной радиации на городские поверхности. Подобный детальный анализ требует широкого

применения ГИС-технологий и спутниковых данных о реальной застройке города.

В направлении исследования городского острова тепла следует отметить работы [110, 143]. На основе снимков ИК-диапазона (инфракрасный диапазон) спутника Landsat проведено исследование острова тепла г. Москва [1]. Стоит отметить, что авторами получены временные структуры тепловых аномалий городских объектов (промзоны, жилая застройка, естественные поверхности и зеленые насаждения и др.) В работах [137, 140] проведена оценка возможностей использования теплового зондирования для исследования городского острова тепла. Отмечены сложности использования численного моделирования городского острова тепла при отказе от использования физических параметров поверхностей. В монографии [87] представлено комплексное исследование городского острова тепла, рассматривающее все аспекты этого направления от определения до методик оценки величины острова тепла и методов снижения его воздействия.

В работах [93, 98] представлена зависимость свойств тепловых потоков от типов подстилающей поверхности с дальнейшим применением разработанной параметризации метеорологических полей в расчетах мезомасштабной модели AIST-MM. Использование расчетных характеристик микроклиматического анализа в глобальных моделях рассматривается в работе [97].

К настоящему времени также существуют исследования посвященные вопросам загрязнения городской окружающей среды под влиянием антропогенных воздействий и нарушения радиационного баланса в пограничном слое атмосферы, приводящих к возникновению «островов тепла» [35, 41, 90].



Рис. 1.2. Направления исследования городской климатологии

Таким образом, современное развитие городской климатологии можно объединить в следующих направлениях (рис. 1.2):

- **Создание модели городского энергетического баланса.**
- **Параметризация городской застройки** в мезомасштабных моделях прогноза погоды. Разработка и использование схем параметризации характеристик микроклимата в мезомасштабных моделях прогноза должны положительно сказаться на точности прогностических данных.
- **Создание схемы параметризации радиационного излучения поверхности** – проблема состоит в том, что практически нет регулярных наблюдений за радиационным балансом в городах. Накопление базы данных по наблюдению за радиационным излучением поверхности будет способствовать разработке различных схем параметризации.
- **Изучение городского острова тепла** (контроль и характеристики) - исследования городского острова тепла сосредоточены на выявлении методов контроля временных вариаций средней температуры. Особое внимание сосредоточено на выявлении роли синоптических условий, и нового параметра – квазифизического «погодного фактора», в который включены эффекты, создаваемые так же и ветром и облаками.
- **Изучение и мониторинг динамических изменений структуры землепользования** в городах – исследование динамики развития урбанизированных территорий и динамики изменений микроклиматических условий. Попытки установить связь температуры с пространственным и динамическим изменением альбедо.
- **Исследование влияния антропогенного воздействия на уровень загрязнения городской окружающей среды.** Выявление связи между изменением и развитием городских территорий с изменением качества воздуха и окружающей среды.
- **Изучение испарения в городах** - еще одна задача, состоящая в измерении и расчете испарения с гетерогенных систем мокрых, влажных и сухих поверхностей в городах.
- **Изучение анизотропии температуры подстилающей поверхности и**

применение методов дистанционного зондирования – создание численной модели. Разработка схем мониторинга и интерпретации данных спутниковых снимков. Оценка применимости различных спутниковых данных для исследований в определенных направлениях.

- **Исследование запасов тепла в структурах городских поверхностей** - это попытка количественно оценить часть энергетического баланса, т.е. части энергии, которая запасается в течение дня, и освобождается в течение ночного периода. А также суммарное количество аккумулированного тепла в городских поверхностях. Разработка сценариев охлаждения и нагревания при изменении структуры поверхностей.
- **Расширение базы наблюдений в городах за энергетическим балансом поверхности.** Проблема в этой области решается систематическими и экспериментальными наблюдениями. Со временем будет происходить накапливание базы наблюдений.

Основные выводы

1. В исследовании автор будет придерживаться классификации масштабов климата данной Е.Н. Романовой. Так, для района города будет применяться термин «мезоклимат», а для микрорайонов термин «микроклимат».
2. Наблюдается недостаток систематизации и структурированности в микроклиматических исследованиях. Отсутствует единая методология комплексного анализа данных со спутников в целях оценки особенностей городского микроклимата.
3. Наиболее важными задачами для создания единой методологии являются определение спектральных диапазонов зондирования, имеющих наибольшую информативность и методов идентификации объектов на исходных, либо преобразованных снимках.

4. В отечественной литературе отмечается преобладание исследований в области оперативного мониторинга и использования данных ДЗЗ (мониторинг снежного покрова, ЧС и т.п.) [3, 6, 45, 46].
5. Исследования в области микроклимата и оценки микроклиматического состояния густозаселенных территорий (городов) с использованием современного программного обеспечения более характерны для зарубежной литературы [62, 73, 101, 134, 136, 142].
6. Анализ и оценка определенных характеристик микроклимата в комплексе позволят делать выводы относительно текущего состояния микроклимата территории, а также оценить влияние антропогенной деятельности на данную территорию.
7. Параметризация характеристик городской застройки в прогностических мезомасштабных моделях является перспективной областью развития городской климатологии.

2. МЕТОДИКА ПРОИЗВОДСТВА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1. Особенности производства микроклиматических исследований

В настоящее время микроклиматические особенности современного города не могут быть отражены ни с помощью широко используемых мезомасштабных моделей прогноза, ни с помощью общих климатических описаний. Наибольшие сложности для проведения оценки особенностей микроклимата накладывают условия рельефа современного города и пригородных территорий, естественные поверхности которых под действием процессов урбанизации значительно изменены. К тому же постоянное динамичное развитие городских структур приводит к достаточно быстрому несоответствию климатических описаний реальной ситуации.

Микроклимат может изменяться в зависимости от топографического положения в рамках рассматриваемого ландшафта. Информация с метеорологических станций корректно отражает особенности и характеристики только такой территории, условия и расположение которой сходны с местоположением метеостанции.

Для определения особенностей микроклимата с использованием ГИС-технологий и спутниковых снимков необходимо построение цифровой модели рельефа (ЦМР), которая имеет первостепенную важность.

Автором предлагается для дешифровки особенностей подстилающей поверхности и расчета других характеристик микроклимата использовать снимки с высоким пространственным разрешением порядка 0,5 м со спутников типа GeoEye, WorldView, QuickBird и др. Данные снимки будут использоваться для территорий микрорайонов (масштабный ряд микроклимата). Для исследования динамики пространственных изменений предпочтительней использовать снимки спутников Landsat 5/7, функционирование которых датируется 1984 г. и 1999 г. соответственно.

Единственным ограничивающим фактором широкого использования таких снимков является их пространственное разрешение (30 м для датчиков ТМ и ЕТМ+). Снимки спутников Landsat будут использоваться для территории, сравнимой с районом города (масштабный ряд мезоклимата). Так, спутники семейства Landsat имеют наиболее продолжительный ряд наблюдений, по этой причине использование данной информации для исследования в этих целях представляется наиболее актуальной. Все используемые снимки находятся в открытом доступе в сервисах Google.

В качестве основания для расчета и комплексной оценки особенностей распределения характеристик микроклимата был проведен расчет и оценка первичных геоинформационных слоев, которые представляют собой основные морфометрические характеристики рельефа и являются продуктом обработки ЦМР: экспозиция склонов, уклон местности (рис. 2.1).

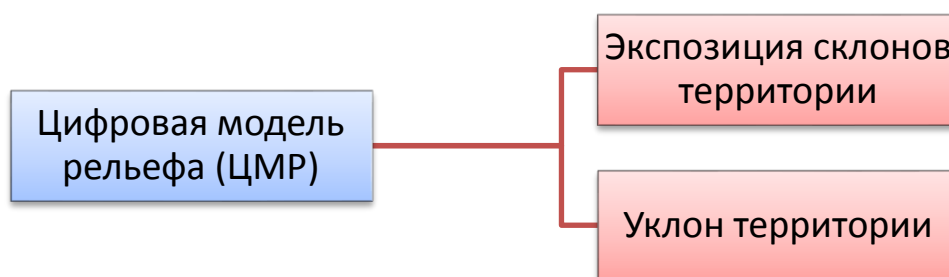


Рис. 2.1. Производные характеристики первичной обработки исходной информации

Основные особенности распределения характеристик микроклимата могут быть представлены в абсолютных и относительных значениях. Так относительные различия достаточно устойчивы в определенных условиях погоды и стратификации атмосферы, поэтому можно получить достаточно надежные микроклиматические данные за короткий период исследований — один-два года и меньше. Абсолютные значения менее устойчивы, но определенный расчет детерминированной части показателя позволит давать оценочные заключения и рекомендации.

В процессе исследования были выделены основные направления микроклиматических исследований для проведения комплексной оценки особенностей распределения характеристик микроклимата (рис. 2.2):

- исследование особенностей рельефа по первичным морфометрическим характеристикам,
- исследование особенностей подстилающей поверхности по данным о характере и структуре землепользования и альбедо территории,
- определение радиационных характеристик и термического режима воздуха и подстилающей поверхности,
- исследование влияния ландшафта на параметры ветрового потока.

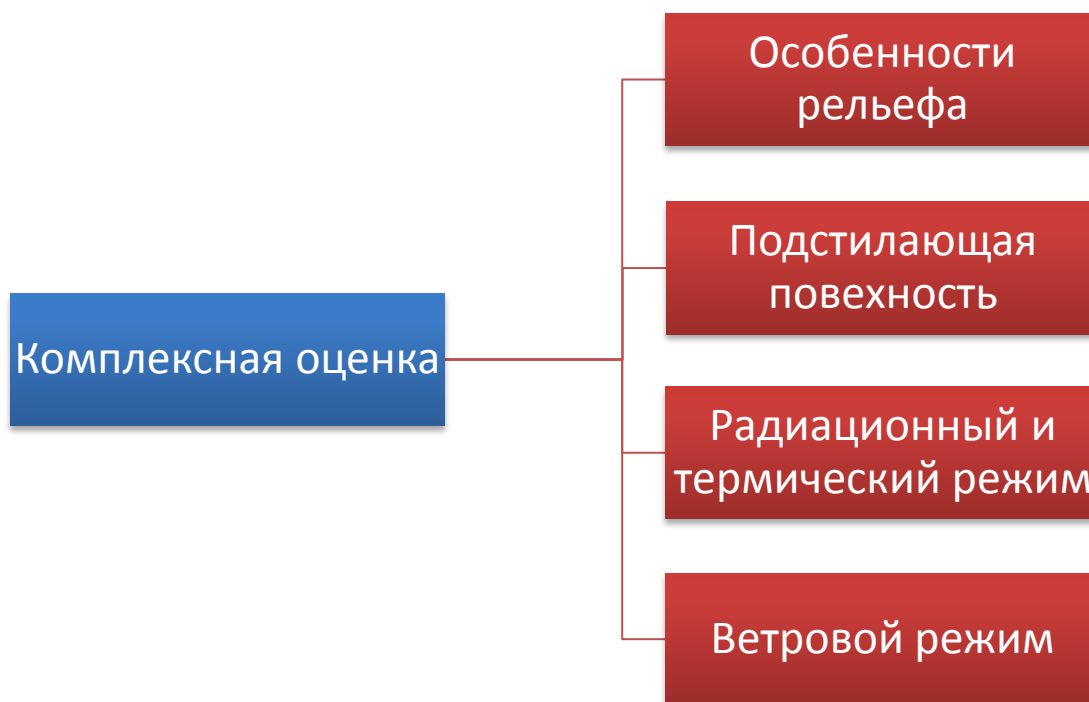


Рис. 2.2. Основные составляющие комплексной оценки особенностей распределения характеристик микроклимата

2.2. Оценка особенностей рельефа с использованием расчетных методов

Основная задача этапа оценки особенностей рельефа – создание исходной ЦМР и расчет производных морфометрических характеристик. В

качестве основы глобального покрытия использовались снимки со спутника Landsat 7 и детальные изображения земной поверхности, со спутников GeoEye и WorldView в зависимости от территории.

Для определения высоты поверхности над уровнем моря использовалась доступная широкому кругу пользователей информация о результатах радарной топографической съемки Земли (SRTM) с детализацией до 30 м – 1 угловая секунда. Такие данные распространяются в нескольких вариантах - сетка с размером ячейки 1 угловая секунда и 3 угловые секунды. После проведенных процедур интерполяции возможно дальнейшее использование данных восстановленного рельефа.

Существует мнение, что модель SRTM имеет низкое разрешение для оценки микроклимата, отмечаются существенные ошибки по высоте для умеренных широт. Для данного исследования такие ошибки автор считает приемлемыми, так как используется привязка к реперной метеостанции (расчеты по солнечной радиации, ветру и т.п.). Погрешность будет тем выше, чем больше площадь исследуемой территории и существенней отличия территории от реперной.

Расчет необходимых морфометрических характеристик, проведение изолиний и дальнейшая пространственная обработка проводилась с использованием программного комплекса ESRI ArcGIS.

Был предложен алгоритм обработки для оценки особенностей рельефа. Так, по созданной ЦМР, была проведена интерполяция высот методом сплайна. Расчет уклонов проводится средствами модуля Spatial Analyst на основе ЦМР. В целях дальнейшего расчета ветровых параметров проводится добавление слоев с переклассификацией значений. Должны быть выделены ровные места и относительные понижения рельефа, плоские водоразделы и вершины, склоны различной крутизны. Участки, имеющие крутизну менее 1°, приравниваются к ровным местам, пониженным или повышенным [32].

Построение геоинформационных слоев с распределением склонов по экспозициям производятся также на основе ЦМР [17, 18]. Полученные слои

подвергаются переклассификации с присвоением необходимых интервалов значений. В целях сравнения предшествующих средств оценки особенностей микроклимата и современных аналитических средств следует вспомнить методику по производству микроклиматических исследований, разработанную 60-х годах прошлого века сотрудниками Главной Геофизической Обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) [32]. Пример карты построенной с использованием методики ГГО представлен на рис. 2.3.

Располагая геоинформационными слоями с первичными морфометрическими характеристиками рельефа, возможен расчет пространственных характеристик подстилающей поверхности.

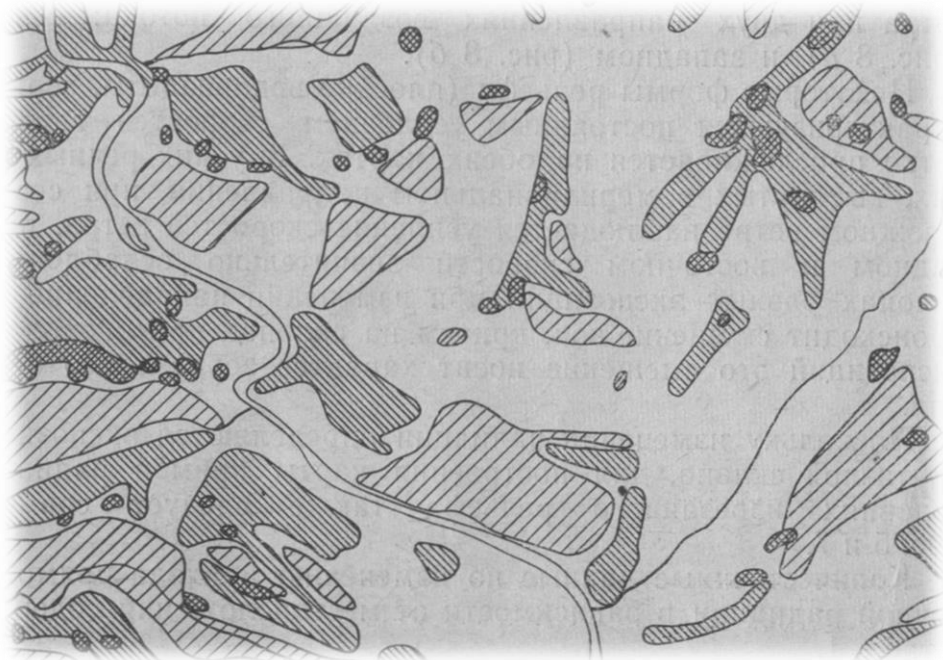


Рис. 2.3. Пример карты построенной с использованием методики ГГО

2.3. Методика оценки особенностей подстилающей поверхности

Антропогенная деятельность ведет к большей фрагментации естественных поверхностей из-за внесения дополнительных объектов с различными свойствами. Изменение ландшафтов имеет важные экологические последствия, которые возможно идентифицировать по геоинформационным слоям и спутниковым снимкам, например, изменение

соотношения ключевых составляющих естественного ландшафта – изменение характера и структуры землепользования.

Качественные и количественные изменения в почвенно-растительном покрове и антропогенных структурах могут успешно контролироваться с использованием спутниковых снимков. Спутниковые снимки обеспечивают пространственно-последовательные массивы данных, которые охватывают значительные регионы с высокой пространственной детализацией и временной частотой снимков. Таким образом, спутниковые снимки также могут обеспечить получение значительных по продолжительности последовательных исторических данных.

Фактором, определяющим размер тепловых ресурсов деятельного слоя, и, как следствие, влияющим на размер потоков явного и скрытого тепла и собственное излучение земной поверхности, является альбедо. Альбедо представляет собой числовую характеристику отражательной способности поверхности: отношение потока излучения, рассеянного поверхностью по всем направлениям, к падающему на неё потоку. Сложность также представляет тот факт, что задача определения альбедо по крупномасштабным снимкам видимого диапазона в целях исследования микроклимата в рамках ГИС-технологий, как было отмечено ранее, решается не часто. Одна из сложностей определения это соблюдение необходимой точностью дешифровки.

Автором в целях оценки подстилающей поверхности были выделены задачи, представленные на рис. 2.4.

На основе выделенных задач можно выстроить последовательность исследования ключевых элементов в структуре оценки подстилающей поверхности:

1. Идентификация структуры землепользования позволяет оценить основные составляющие типы поверхностей.
2. Определение динамики изменения структуры землепользования предоставляет возможность для эффективного обнаружения

узловых точек роста городов с оценкой влияния роста города на изменения многолетних данных по температуре поверхности.

3. Учет фактических данных о величине альbedo по крупномасштабным снимкам (GeoEye, WorldView и т.п.) позволит оценить текущее состояние территории.
4. Расчет динамики изменения альbedo дает информацию о хронологии и тенденциях в использовании территории.
5. Оценка среднего по площади альbedo представляет собой агрегирование данных по всей территории исследования.
6. Определение температуры поверхности с учетом данных об альbedo по фактическим данным и данным о динамики изменения альbedo позволит оценить прогрев территории.

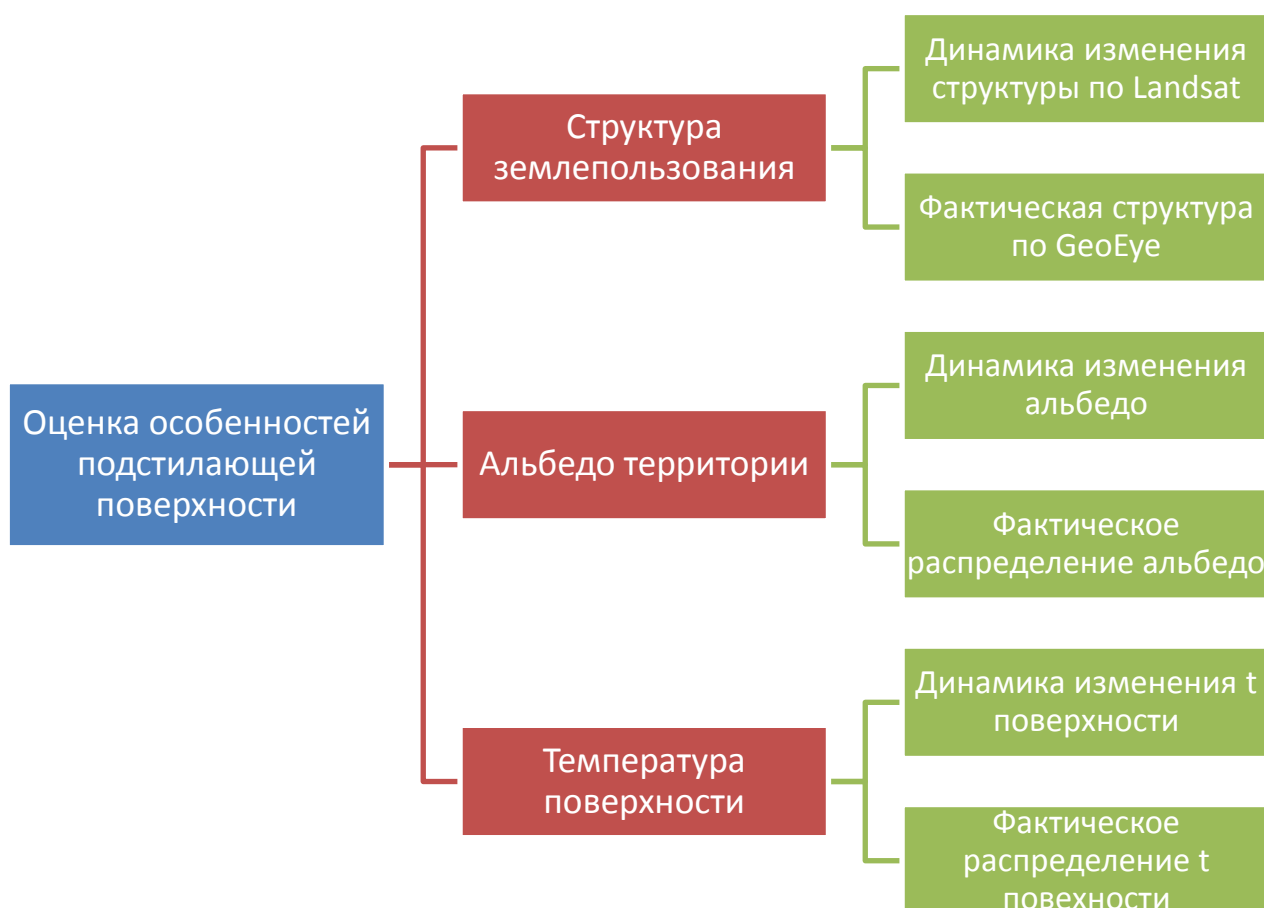


Рис. 2.4. Иерархическая структура оценки подстилающей поверхности

Так как приоритетным в исследовании является определение параметров альбедо, то идентификацию структуры землепользования следует проводить с учетом информации о величине альбедо дешифрируемой поверхности. Так для отдельных типов поверхностей величины альбедо (A) изучены достаточно хорошо (табл. 4 в прил. 2). Для многих поверхностей альбедо существенно зависит от высоты Солнца, а также состояния этих поверхностей – увлажненности, загрязненности, фенофазы растительного покрова, состава материалов в искусственных покрытиях и т.д. Для определения альбедо городской застройки требуется расчет отдельных его составляющих на разнородных по отражательной способности поверхностях.

Таким образом, точное определение альбедо поверхности имеет большое значение для прогнозирования, проектирования и экосистемного моделирования.

Из-за большого объема обрабатываемых данных невозможно рассмотреть все детали снимка визуально. В работе предлагается следующая процедура для получения полигональных слоев:

1. визуальный осмотр воздушных аэрофотоснимков и подготовка списка различных типов поверхностей идентифицируемых на фотографии;
2. группировка поверхности в категории, по необходимым признакам;
3. случайная выборка подмножества данных для каждого района, и визуальный осмотр каждого образца с присвоением ему категории.

Для больших площадей сравнимых с площадью города, либо его района хорошо подходят программные продукты ERDAS [69, 111]. Для малых площадей, сравнимых с территорией микрорайона предпочтительней использовать Adobe Photoshop по причине больших возможностей для детального учета переходных и смешанных поверхностей.

Для задачи исследования динамики изменения альбедо территории из всего многообразия поверхностей можно выделить следующие типы:

- природные поверхности, к которым следует отнести поверхность водоемов, почвенно-земельный покров, лес, травяной покров, также к этой группе будет относиться снежный покров; общим свойством для всех этих типов является их природное происхождение, для большинства типов альbedo будет находиться в пределах 15-25%;
- городские поверхности, к которым относятся улично-дорожная сеть с покрытиями с различными характеристиками и свойствами, площадки и другие места отдыха; общим свойством является их антропогенное происхождение, альbedo большинства типов находится в пределах 10-20%;
- жилая застройка, к которой относятся крыши, фасады и стены зданий; это преимущественно архитектурные сооружения правильной геометрической формы, использующие кровельные материалы с достаточно высокой отражательной способностью (альbedo от 25%).

На основе такой типизации автор предлагает проводить деление поверхностей на виды в зависимости от величины альbedo. Группировку поверхностей следует проводить исходя из общих физико-морфологических свойств объектов. Так, дешифровка спутниковых снимков проводится на основе морфологических признаков (визуальной составляющей снимка) и их физических свойств (отражательной способности в различных диапазонах длин волн). Спутники Landsat ведут съемку с использованием 7 каналов (TM bands) (рис. 2.5).

В качестве источников данных об альbedo использовалась информация из работ [35, 72, 74, 132, 139].

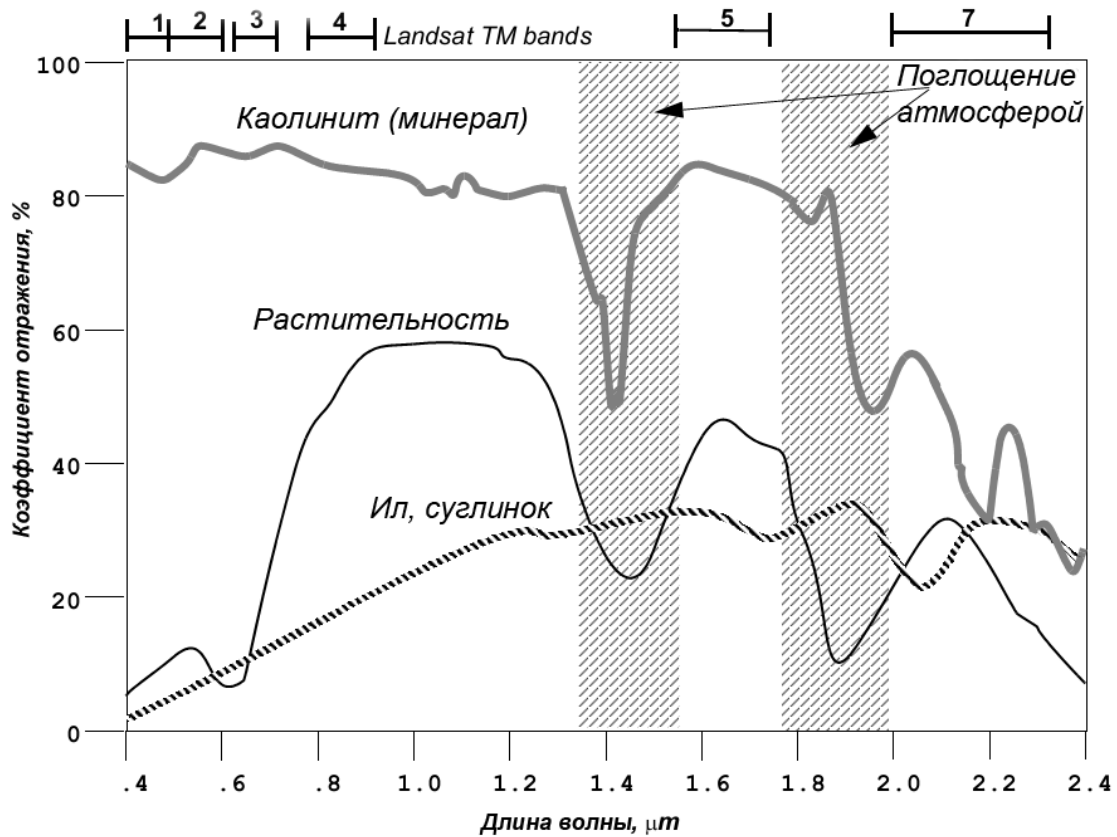


Рис. 2.5. Спектры отражения и соответствующие им каналы датчика Landsat Thematic Mapper (TM) [72]

На рис. 2.6 цифрами обозначены виды поверхностей.

Выборка и группировка поверхностей, которая осуществлялась на основе данных об альбедо, представлена следующими видами:

1. Поверхности водоемов
2. Хвойный лес (включая смешанный лес)
3. Лес лиственный (включая кустарники)
4. Травяной покров (трава зеленая, газоны, стадионы, цветники, зерновые культуры)
5. Почвенно-земельный покров (темная почва, серая почва, малогумусная почва, трава сухая выгоревшая). В зависимости от увлажненности альбедо может уменьшаться.
6. Улично-дорожная сеть (проезжие части улиц, бетон, асфальтовые тротуары, асфальтобетон, площадки, дорожки с гравийным

покрытием).

7. Крыши зданий из темных материалов (на основе гудрона, рубероида, битума и схожих материалов).
8. Крыши зданий из светлоокрашенных материалов (окрашенный битум, сталь окрашенная).
9. Крыши зданий из стали, алюминия.



Рис. 2.6. Снимок спутника Landsat 5 (центральная часть
Мотовилихинского р-на г. Перми, 1987 г.)

1 – травяной покров, 2 – хвойный лес, 3 – почвенный покров, 4 – лиственный лес, 5 – улично-дорожная сеть, 6 – крыши из светлых покрытий, 7 – водная поверхность.

Таким образом, предлагаемые градации альбедо с информацией о входящих в них видах поверхностей, используемые в данной работе, представлены в табл. 2.1.

Для исследования можно использовать снимки спутников Landsat 7 и Landsat 5 с равным временным интервалом. Данные следует выбирать с приблизительно равными датами съемки для наибольшей сопоставимости результатов.

Таблица 2.1

Альбедо локальных поверхностей

Градации альбедо	Вид поверхности
До 10%	Поверхность водоемов
11 – 15%	Улично-дорожная сеть, хвойный и смешанный лес, крыши зданий из темных материалов
16 – 20%	Лиственный лес, почвенно-земельный покров
21 – 25%	Травяной покров
26 – 30%	Крыши зданий из светлоокрашенных материалов
Более 30%	Крыши зданий из стали, алюминия.

Существуют также работы по определению альбедо территории непосредственно со спутниковых снимков, например в работе [139] используются данные аппаратуры MODIS со спутника Terra. Каналы, использованные в данном исследовании, имеют пространственное разрешение 1 км. В исследованиях городских условий и прочих исследованиях по крупномасштабным картам и снимкам пространственное разрешение 1 км является неприемлемым (рис. 2.7).

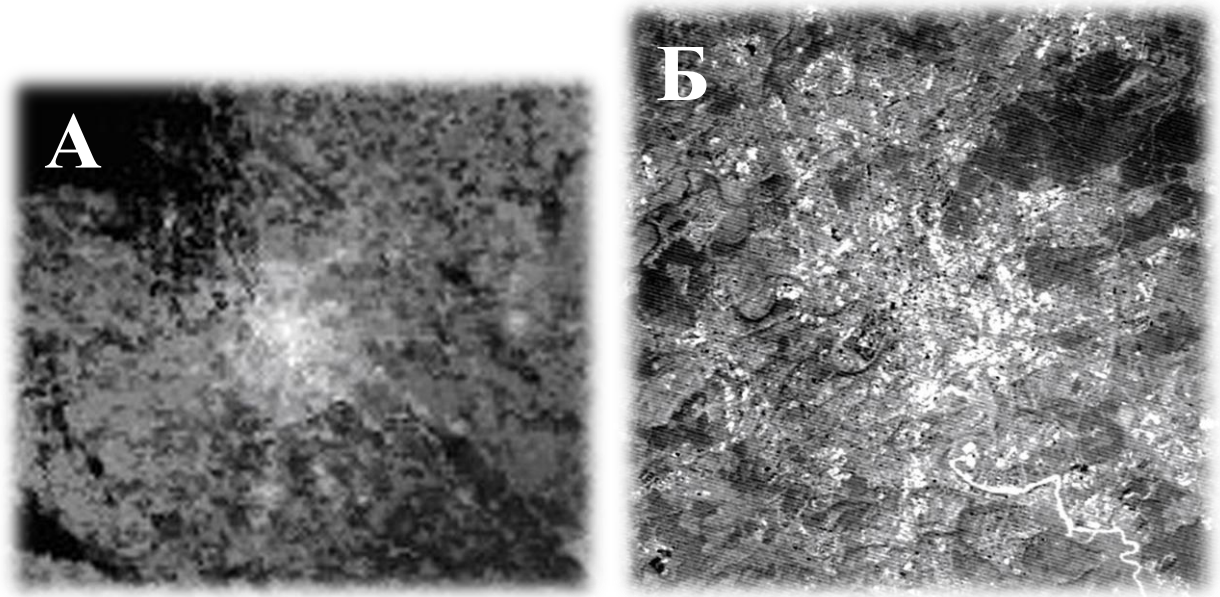


Рис. 2.7. Фрагмент теплового изображения на территорию
Москвы

- А) система MODIS спутника Terra пространственное разрешение 1000 м,
Б) система ТМ спутника Landsat-5 пространственное разрешение 120 м.

Для классификации характера землепользования и типа естественных поверхностей необходимо максимально использовать многоканальность датчиков. Таким образом, чтобы максимально повысить точность дешифровки, которая ограничена 30-метровым разрешением каналов съемки, требуется подготовить несколько изображений в ложных цветах (false-color image). Использование основных цветов: красного, зеленого и синего (RGB), дает возможности для подготовки контрольных карт для классификации необходимых поверхностей.

Каждый тип поверхности имеет свою определенную отражающую способность на различных участках электромагнитного спектра. Графически это можно представить в виде кривых спектральной яркости, величины которой получают специальными измерениями на местности. Ход кривых меняется в зависимости от состояния объекта. Различаются кривые сухой и влажной почвы, водоемов с чистой и загрязненной водой, лесов в разное время года. На рис. 2.5 приведены примеры кривых для некоторых объектов.

Обобщая информацию о типах поверхностей [35, 130, 138, 139, 141, 144], следует выделить такие участки типов поверхностей:

- **Почва**

Отражательная способность почвы уменьшается по мере увеличения содержания органического вещества. При увеличении влажности почвы, отражательная способность почв так же уменьшается на всех длинах волн. Текстура почвы приводит к увеличению отражения с уменьшением размера частиц.

- **Растительность**

Спектральное отражение основано на свойствах хлорофилла и поглощении воды листьями. Возможно выделение растительности в зависимости от типа, листовой структуры, содержания влаги и здоровья растений.

- **Искусственные материалы**

Бетон, битум и асфальт имеют спектральные кривые, на которых можно отметить увеличение поглощения электромагнитного спектра от видимой части до средней ИК зоны. Но стоит отметить, что с увеличением срока использования бетонных и асфальтных покрытий, бетон становится темнее, а асфальт светлее.

- **Водные поверхности**

Как правило, имеют высокую отражательную способность в видимой области спектра. Чистая вода имеет меньший коэффициент отражения, чем мутная вода. В ближней и средней ИК зоне значительно поглощает излучение.

Таким образом, опираясь на кривые спектральной яркости, следует планировать, в каких участках спектра целесообразно производить съемку поверхности Земли. Если выполнить космическую съемку местности одновременно в нескольких таких зонах спектра и по серии зональных снимков определить яркости объектов, можно получить аналоги кривых спектральной яркости – спектральные образы объектов.

После предварительного тестирования, и исходя из предложенной автором классификации поверхностей по видам, были выбраны подходящие комбинации каналов спутников для определения контуров объектов (табл. 2.2).

При необходимости также возможно использование и расчетных индексов типа NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Для дешифровки можно использовать следующие программные комплексы: ERDAS Imagine, ESRI ArcGIS, Adobe Photoshop и некоторые другие. Исходя из доступности, возможностей и качества обработки были использованы ESRI ArcGIS для геоинформационного анализа, Adobe Photoshop для обработки растра и создания растровых слоев. Таким образом, предлагаемая методика дешифровки снимков не использует уже ставший традиционным подход с использованием контролируемой классификации с использованием ERDAS Imagine [69, 108, 115]. Стоит заметить, что исследования микроклимата по снимкам низкого разрешения будут всегда требовать ручной корректировки создаваемых слоев, это во многом снимает различия между ERDAS Imagine и Adobe Photoshop. Так же в данном случае требуется обеспечивать историческую преемственность показателей дешифровки в необходимом объеме, что можно получить, следуя предлагаемой методике.

Выделение границ следует начинать с таких объектов, которые имеют наиболее стабильные и устойчивые во времени контуры. После визуальной оценки была определена следующая последовательность дешифровки (по типам поверхностей):

1. Водная поверхность
2. Хвойный лес
3. Лиственный лес
4. Травяной и почвенный покров
5. Контуры зданий
6. Улично-дорожная сеть

Следует сделать уточнение в том, что травяной и почвенный покров имеют быстро изменяющуюся структуру, которая обуславливает взаимный переход этих типов друг в друга. Таким образом, при разных условиях увлажнения, процессах обработки данных поверхностей, погодных условиях сезона и конкретных дат съемки эти поверхности будут иметь нестабильные значения для дешифровки. Но также стоит отметить, что сумма этих поверхностей будет представлять намного более стабильные показатели, слабо зависящие от перечисленных факторов.

Таблица 2.2

Комбинации каналов датчика Landsat Thematic Mapper

Каналы (R-G- B)	Информационное содержание	Назначение
4-3-2	Стандартный "ложный цвет". Растительность представлена в оттенках красного, городские районы – темно-голубого и серого цвета, почвы – от темного до светло-коричневого тона. Выделение контуров улично-дорожной сети основано на том, что растительность имеет более высокий коэффициент отражения в ближней ИК зоне. В то время как в этой же зоне бесплодные земли, городские районы и автомобильные дороги не выделяются и имеют темные тона, обеспечивая максимальный цветовой контраст.	определение контуров дорог и почв
7-4-2	Здоровая растительность имеет ярко-зеленый цвет и может быть насыщенной в сезоны активной вегетации, луга имеют зеленый цвет, розовые области представляют собой бесплодную почву. Городские районы проявляются в различных оттенках пурпурного и серого. Выделение контуров зданий, преимущественно со светлыми покрытиями, основано на высоком контрасте данных цветов.	определение контуров зданий

Продолжение таблицы 2.2		
4-5-1	Здоровая растительность представлена в оттенках красного, коричневого, оранжевого и желтого. Грунт может быть представлен в зеленом и коричневом, городские объекты: серые тона, красноватые области показывают новый рост растительности, например, редкие луга. Водная поверхность будет очень темной в этой комбинации. Добавление средней ИК-полосы (канал 5) повышает чувствительность обнаружения типов растений и их этапов роста. Возможные ошибки интерпретации – увлажнение почвы, необходимо уточнение с помощью комбинации 3-2-1.	определение контуров хвойного леса, водной поверхности
5-4-3	Также как и комбинация 4-5-1 предоставляет значительное количество информации с качественным цветовым контрастом. Здоровая растительность имеет цвет ярко-зеленый, а почва лиловые оттенки. Эта комбинация использует канал 5, который представляет сельскохозяйственную информацию, часто используется для исследований растительности.	определение контуров травяного покрова и лиственного леса
3-2-1	Комбинация «естественного цвета». Используются каналы в видимой части спектра. Часто используется в городских исследованиях. В данном случае используется для уточнения и контроля контуров объектов.	контроль

Контурные здания, полученные в процессе дешифровки, будут представлять собой поверхности, преимущественно имеющие окрашенный слой (окрашенный битум, окрашенная сталь). Т.е., в сравнении с более темными покрытиями на основе гудрона, рубероида и др. окрашенные поверхности будут иметь другие свойства.

В связи с пространственным разрешением съемки в 30 м улично-дорожная сеть имеет ограничения по дешифровке и будет включать в себя и крыши зданий из обозначенных темных материалов из-за близких свойств.

Контроль выделения объектов представляет собой двухэтапный процесс: визуальный контроль по комбинации каналов 3-2-1 и взаимоконтроль слоев, т.е. взаимное наложение и перекрытие спорных областей с предложенным приоритетом дешифровки и определением, за счет чего достигается непротиворечивость выделения контуров.

Выполнение дешифровки предлагается проводить от наиболее современных снимков в хронологической последовательности. Такой подход дает возможность более качественного контроля выделения контуров. Для этого используется не только снимок Landsat в естественном цвете с разрешением 30 м, но и современные снимки с высоким пространственным разрешением порядка 0,5 м со спутников типа GeoEye, WorldView, QuickBird. Такие снимки высокой четкости использовались как эталонные.

Первоначальное выделение основано на использовании инструментов, в основе работы которых лежит принцип действия – выбор областей изображения, основанный на сходной тональности или цвете изображения (например, Color Range). Выбор осуществляется путем определения цвета или цветовой гаммы в рамках существующего выделения или всего изображения. Настройки инструментов подобного типа позволяют выделить все пиксели, которые имеют такой же цвет, как пиксель-образец с допустимыми интервалами по уровням яркости, то есть которые находятся в пределах заданного уровня яркости с заданной погрешностью.

Последовательная обработка снимка и оконтуривание поверхностей за счет наложения (overlay) приводит к получению готового дешифрованного снимка (рис. 2.8).

На основе полученных слоев объектов производится обработка более ранних снимков, благодаря принципу хронологической последовательности изменений, имеющиеся слои контуров объектов являются маркером для

дешифровки, то есть помимо предложенной прямой классификации контуров возможна и корректировка имеющихся слоев. Решение о выборе метода классификации принимается индивидуально по типу поверхности или его части. Корректировка наиболее всего подходит для определения границ устойчивых во времени объектов (например, водная поверхность).



Рис. 2.8. Пример готового дешифрованного снимка (центральная часть Мотовилихинского р-на г. Перми)

1 – травяной покров, 2 – хвойный лес, 3 – почвенный покров, 4 – лиственный лес, 5 – улично-дорожная сеть, 6 – крыши из светлых покрытий, 7 – водная поверхность.

Стоит отметить, что метод контролируемой классификации в ERDAS Imagine имеет общие черты с предлагаемым способом дешифровки с использованием Adobe Photoshop. Контролируемая классификация так же опирается на априорное знание района исследований, в результате так же создается новое цифровое изображение, каждый пиксель которого с определенной степенью вероятности соответствует тому или иному классу объектов. Таким образом, при определенной необходимости и соответствующей доработке технических аспектов возможно использование и ERDAS Imagine.

Для анализа данных о текущем распределении поверхностей и величине альбедо предлагается использовать средства Google Maps, SAS.Planet и ArcGIS – проводится анализ снимков видимого диапазона с пространственным разрешением 0,5 м. Изображения видимого диапазона накладывают свои ограничения. Поэтому выполнение дешифровки выполняется либо вручную с качественным анализом переходных поверхностей, либо с использованием пакетов для работы с растровыми изображениями.

Так как микроклиматические исследования, как правило, проводятся для территорий сравнимых с микрорайоном, либо меньшего масштаба, будет рассмотрен процесс дешифровки средствами Adobe Photoshop (рис. 2.9).

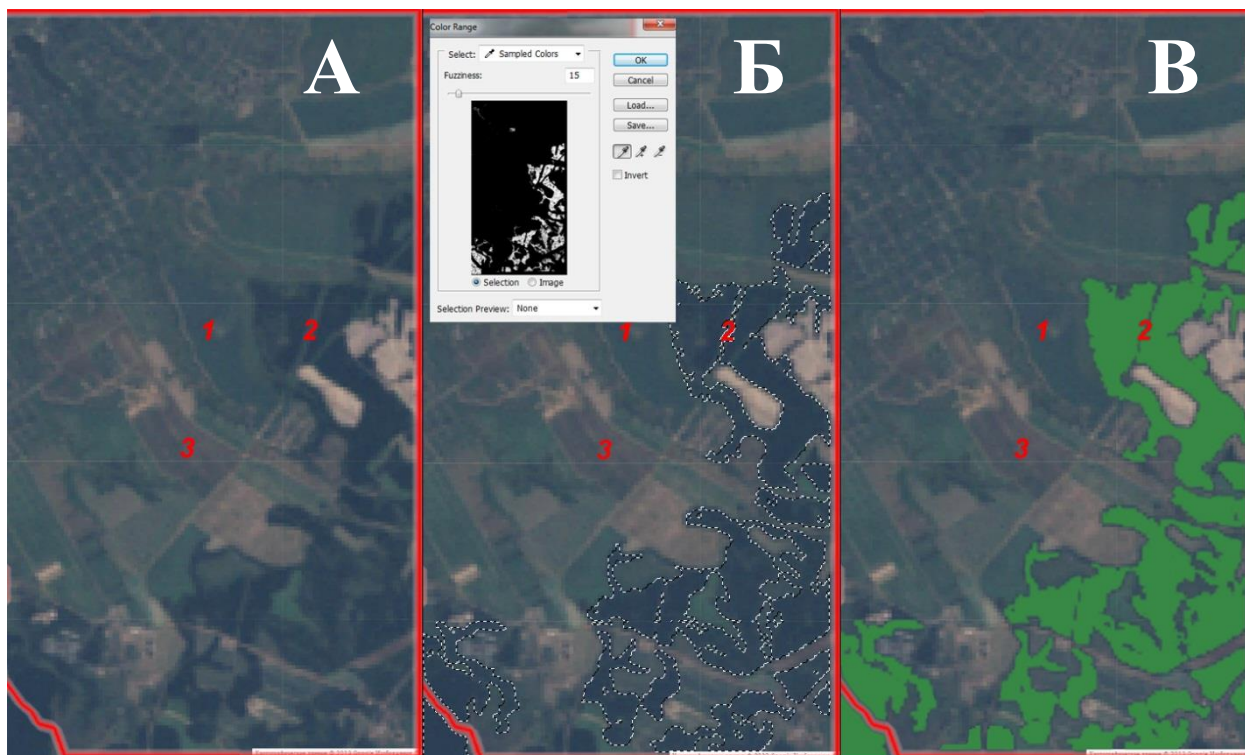


Рис. 2.9. Процесс дешифровки средствами Adobe Photoshop
(последовательность шагов А-В)

Дешифровка космических снимков представляет собой двухэтапный процесс. Первичная оценка вида подстилающей поверхности осуществляется визуально, путем выделения значительных однородных поверхностей качественного состава которых не вызывает сомнений. Такие объекты, как зеленая трава или асфальтированные поверхности определяются безошибочно. Далее следует сопоставление ранее накопленной теоретической и эмпирической информации о коэффициентах альбедо с типами поверхности. Второй этап оценки представляет собой более детальный анализ поверхности. Так при невозможности определения, либо в сложных случаях по выделению однородных участков для дешифровки или уточнение качественного состава поверхности следует применять алгоритм, основанный на разложения какой-либо поверхности цвета на RGB составляющие аддитивной цветовой модели, в которой красный, зеленый и синий цвета складываются в различных пропорциях для воспроизведения широкого спектра цветов. Суть алгоритма заключается в определении

разницы между двумя составными частями смешанной поверхности по каждой составляющей RGB модели. Дальнейшее вычисление по пропорции дает возможность для корректировки альбедо для такой поверхности.

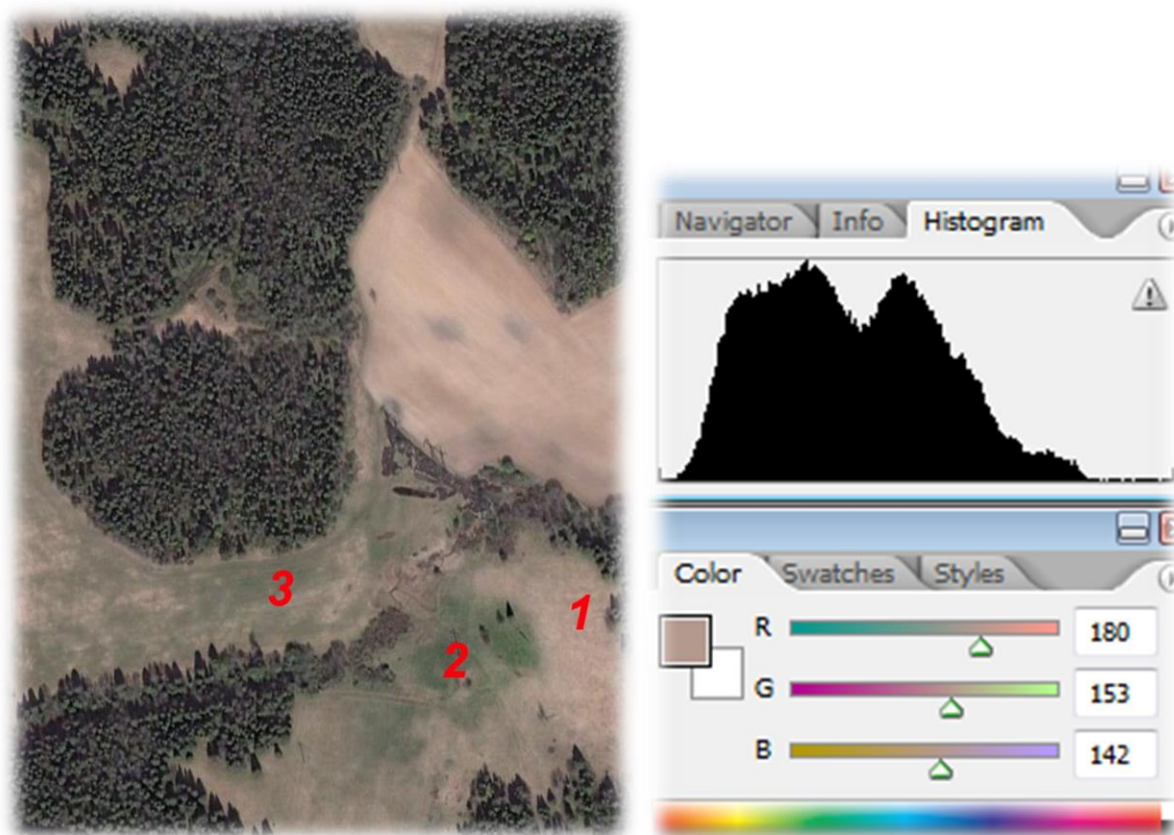


Рис. 2.10. Дешифровка смешанных поверхностей средствами Adobe Photoshop

1 – сухая почва, 2 – растительный покров, 3 – смешанная поверхность (предположительно, выгоревшая или поврежденная трава), слева – представлена гистограмма для сухой почвы.

Как правило, сложные для дешифровки поверхности это переходные формы «зеленая трава - выгоревшая трава», участки смены различных типов почв и т.п., либо участки, включающие в себя поверхности с различным альбедо (например, отдельные кустарники, деревья на фоне почвы) (рис. 2.10). По данным гистограмм для каждой из поверхностей рассчитывается альбедо смешанной поверхности. Тестирование данного алгоритма в

процессе дешифровки показало адекватность расчета альбедо смешанной поверхности в синтезированном изображении в естественных цветах.

После дешифровки необходимо выполнить классификацию поверхностей с присвоением индивидуальных определителей типа поверхности, в зависимости от последующих целей [60].

Значительный интерес могут представлять данные о распределении максимальной температуры поверхностей. Для оценки теплового эффекта «городского острова тепла» данные зональной статистики рассчитываются на основе созданных геоинформационных слоев, содержащих информацию о типе поверхности. Такие данные следует группировать и рассматривать деление территорий по градациям в зависимости от типа подстилающей поверхности с учетом вклада каждой из градаций в общую площадь.

В силу своей высокой теплоемкости городские поверхности аккумулируют значительные объемы тепловой энергии. В результате большую дневную температуру поверхности в городском острове тепла можно легко видеть, с помощью теплового дистанционного зондирования, либо с применением методики определения температуры поверхности в зависимости от альбедо.

Так, все типы поверхностей можно разделить на 4 группы в зависимости от их пиковой дневной температуры [87]:

- Деревья, трава, растительность являются самыми холодными поверхностями с максимальной дневной температурой (T_{veg}) 15 - 38°C, S_{veg} – доля площади территории, занятая данными поверхностями.
- Антропогенные покрытия естественной поверхности (дороги, тротуары, парковки и т.п.) являются более теплыми, значения максимальной температуры для светлых покрытий (T_{lpav}) находятся в пределах 49 - 60°C, S_{lpav} – доля площади территории, занятая поверхностями со светлым покрытием.

- Для более темных или серых покрытий (T_{dpav}) $60 - 71^{\circ}\text{C}$, S_{dpav} – доля площади территории, занятая поверхностями с темным покрытием.
- Крыши классифицируются как самые горячие поверхности в городах и пригородах с максимальной дневной температурой (T_{roof}) $66 - 88^{\circ}\text{C}$, S_{roof} – доля площади территории, занятая данными поверхностями.

Средняя температура территории (T_i) согласно этим данным оценивается как:

$$T_i = T_{veg} \times S_{veg} + T_{lpav} \times S_{lpav} + T_{dpav} \times S_{dpav} + T_{roof} \times S_{roof} \quad (2.1.)$$

Расчеты проводятся для времени максимального прогрева территории, примерно 14-16 часов местного времени. Данные расчетов можно подтвердить с использованием теплового дистанционного зондирования, но в связи с малым масштабом общедоступных снимков разница в полученных результатах может быть достаточно большой и оценка может быть не достаточно корректной.

На основе данных расчетов можно оценивать эффективность мероприятий по улучшению условий комфортности территории для человека. С другой стороны включение в такое исследование снимков за прошлые годы позволит выявить тренд и динамику изменений.

2.4. Методика оценки радиационного режима

В атмосферных процессах существенную роль играет ультрафиолетовая радиация ($0,3 < \lambda < 0,39$ мкм), видимая и инфракрасная (в диапазоне $0,76 < \lambda < 60$ мкм) [13, 22]. Приход солнечной радиации зависит от астрономических факторов, прозрачности атмосферы для солнечной радиации, облачности (количестве и форме облаков). Расход солнечной радиации зависит от отражательных свойств поверхности (альбедо). Эффективное излучение определяется температурой подстилающей поверхности, стратификацией

атмосферы, облачностью, общим влагосодержанием атмосферы, количеством «парниковых газов».

Неравномерное распределение в пространстве и во времени прихода солнечной радиации к земной поверхности является первопричиной всех атмосферных движений, а также трудностей, возникающих при ее техническом использовании. Для деятельной поверхности нижнего слоя атмосферы уравнение радиационного баланса записывается в следующем виде:

$$B_R = (S+D) \cdot (1 - A) + \delta \cdot E_A - E_3, \quad (2.2.)$$

где S – прямая солнечная радиация, приходящая на поверхностный слой (ПС); D – рассеянная солнечная радиация, приходящая на ПС; A – альbedo поверхности ПС; δ – относительный коэффициент поглощения поверхностью длинноволновой радиацией; E_A – длинноволновое излучение атмосферы; E_3 – длинноволновое излучение поверхностного слоя.

Поверхность, поглощающая радиацию B , называется деятельной или подстилающей и представляет собой не геометрическую бесконечно тонкую поверхность, а некоторый слой большей или меньшей толщины, зависящей от того, на какую глубину может проникать радиация в этот слой. Покрывающий земную поверхность растительный покров также составляет деятельный слой, толщина которого определяется высотой растительности.

Наиболее часто возникает потребность в расчете коротковолновых характеристик макроклиматического значения (прямой солнечной, рассеянной, отраженной и суммарной радиации). Объясняется это тем, что в уравнении радиационного баланса преобладающее значение имеет коротковолновый баланс, величина которого подвержена наибольшим изменениям в суточном и годовом ходе [13, 21, 99].

Можно выделить 3 основных метода расчета параметров солнечной радиации:

1. Методические указания ГГО им. А.И. Воейкова [32].

2. Модель SolarFlux, представленная в ArcGIS, и сходные с ней модели.
3. Гибкий поэтапный расчет потоков солнечной радиации с использованием растровой алгебры [60].

Результирующие карты, получаемые с использованием методики ГГО, основаны на эмпирических зависимостях. Процесс построения основан на использовании карт уклонов и экспозиций. Присвоение коэффициентов полученным областям проводится по разработанным таблицам. Отличительной особенностью является значительное использование различных градаций для карт уклона местности.

Существующий механизм расчета, который используется в ArcGIS (Solar Analyst) основан на модели SolarFlux [75, 76], разработанный для использования в ArcGIS, имитирующей влияние наложения тени от объектов, тем самым влияя на поступление прямой солнечной радиации. Функция использует дискретные интервалы во времени. Таким образом, Solar Analyst представляет возможности расчета солнечного излучения, основываясь на цифровых моделях рельефа с использованием алгоритмов получения полусферической зоны видимости.

Общее количество поступившего солнечного излучения, рассчитывается для конкретного местоположения или области и задается как глобальный поток излучения. Расчет прямой, рассеянной и суммарной инсоляции повторяются для каждой точки поверхности топографических карт определенного географического района. Для расчета переноса солнечной радиации используется простая модель функции пропускания, которая учитывается посредством усреднения данной функции по всем длинам волн в направлении кратчайшего пути к точке. Это ведет к невозможности детальной настройки всех параметров функции пропускания, включая определение максимальных значений потоков прямой солнечной радиации, без учета поглощения. К тому же, возможности Solar Analyst для учета облачности и альбедо территории так же ограничены [81, 82].

Расчет потоков солнечной радиации с использованием растровой алгебры основан на следующих теоретических выкладках. Прямая радиация, поступающая на склон, учитывает астрономические факторы, а также крутизну и ориентацию склона.

$$S_{скл} = S \cos i \quad (2.3.)$$

где S – прямая радиация на перпендикулярную к лучам поверхность; $\cos i$ – косинус угла падения солнечных лучей на заданную поверхность, определяемый соотношением

$$\cos i = \cos \alpha \sin h_{\odot} + \sin \alpha \cos h_{\odot} \cos \psi \quad (2.4.)$$

α – крутизна склона, i – угол падения солнечных лучей на склон, $h_{\odot}$ – высота Солнца, ψ – разность азимутов Солнца и проекции нормали к склону

В данном случае формула (2.4.) является целевой, так как она необходима как для расчетов относительных изменений притока радиации, так и для определения ее абсолютных значений.

Относительные изменения прямой солнечной радиации (в процентах от радиации на ровном месте) вычисляются как отношение $\cos i$ к $\sin h_{\odot}$.

Также, поскольку спектральные области, в которых сосредоточена коротковолновая солнечная и длинноволновая земная радиация, практически не перекрываются, перенос коротковолновой и длинноволновой радиации можно рассматривать отдельно. При таком подходе можно сделать следующее упрощение – в коротковолновой области ничтожно мало собственное излучение Земли, облаков и атмосферы.

- R1 – базовый слой, представляет собой константу (солнечная постоянная с учетом широты); тождественен значениям поступающей коротковолновой солнечной радиации при безоблачной атмосфере $S'(z)$, нисходящая рассеянная радиация отсутствует. Рассчитывается по формуле:

$$S'(z) \equiv S(z) \cos \theta = S_0 \cos \theta P_{k1}(m_1, m_{C1}). \quad (2.5.)$$

- R2 – расчетный слой отраженной солнечной радиации при безоблачной атмосфере $D^{\uparrow}(z)$. Рассчитывается по формуле:

$$D^{\uparrow}(z) = S_0 \cos \theta P_{k2}(m_2, m_{C2}). \quad (2.6.)$$

- R3 – расчетный слой нисходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако в подоблачном слое $D^{\downarrow}(z)$. Рассчитывается по формуле:

$$D^{\downarrow}(z) = S_0 \cos \theta P_{k3}(m_3, m_{C3}). \quad (2.7.)$$

- R4 – расчетный слой восходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако и отраженной от подстилающей поверхности в подоблачном слое $D^{\uparrow}(z)$. Рассчитывается по формуле:

$$D^{\uparrow}(z) = S_0 \cos \theta P_{k5}(m_4, m_{C4}). \quad (2.8.)$$

- R5 – расчетный слой восходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако и отраженной от подстилающей поверхности в надоблачном слое $D^{\uparrow}(z)$. Рассчитывается по формуле:

$$D^{\uparrow}(z) = S_0 \cos \theta [P_{k5}(m_4, m_{C4}) + P_{k4}(m_5, m_{C5})]. \quad (2.9.)$$

Дальнейшая обработка слоев R2, R3, R4, R5 включает в себя операцию растровой алгебры умножения полученных данных на ранее созданный растровый слой с информацией о рельефе. С помощью этой операции учитывается влияние рельефа.

Дальнейшее развитие идеи оценки потоков радиации – введение слоя, учитывающего альбедо, который позволит оценивать влияние антропогенно-измененных ландшафтов, то есть учет влияния различных преобразований поверхности человеком и влияние застройки на радиационный режим.

В формулах (2.5.) и (2.6.) $S_0 \cos \theta$ – инсоляция на верхней границе атмосферы, $S_0 = 1376 \text{ Вт/м}^2$ – солнечная постоянная. Р и m с индексами обозначают функции пропускания и поглощающие массы для разных видов радиации.

Интегральная функция пропускания для коротковолновой радиации в облачной атмосфере P_{ki} ($i = 1, 2, 3, 4, 5$) может быть представлена в следующем виде:

$$P_{ki}(m_j, m_{cj}) = a_i P_{uk}(m_j, m_{cj}), \quad (2.10.)$$

где $P_{uk}(m_j, m_{cj})$ — функция пропускания для инфракрасной части солнечной радиации, учитывающая поглощение радиации водяным паром и углекислым газом.

Коэффициент a_i в (2.10.) учитывает отражение и пропускание солнечной радиации облаками и отражение ее земной поверхностью в инфракрасной области спектра. Для прямой солнечной радиации $a_1 = 1$.

Более подробное описание теоретических положений не приводится, такое описание можно найти в [19, 30].

В целях проведения оценочных работ по определению максимально возможных составляющих радиационных потоков целесообразно сделать следующую поправку. Функция пропускания для инфракрасной части солнечной радиации, которая учитывает поглощение солнечной радиации водяным паром и углекислым газом, принять равной 1, т.е. при отсутствии поглощения в атмосфере данными веществами. Данное приближение позволяет оценить максимальные значения потоков радиации для данной широты и времени вне зависимости от локальных характеристик атмосферы. Так введение реальных значений этой функции закономерно приведет к уменьшению значений потоков радиации, в связи с присутствием в атмосфере поглощающих веществ.

Таким образом, переход к условиям реальной атмосферы значительно осложняет расчет радиационного режима. Так реальная атмосфера представляет собой аэрозоль, т.е. систему, состоящую из газообразной (дисперсионной среды), в которой во взвешенном состоянии присутствуют твердые и жидкие частицы (дисперсная фаза).

Отличительная особенность методики ГГО – качественная проработка и возможность построения карт с относительными значениями солнечной радиации в процентном соотношении с количеством солнечной радиации, приходящейся на ровную поверхность. Так имея данные ближайшей метеостанции о средних суммах прямой радиации на горизонтальную поверхность, можно получить сумму радиации на отдельных участках рельефа путем умножения ее на соответствующий коэффициент. Но также можно ограничиться и относительными величинами радиации.

Такой подход имеет широкую прикладную применимость и был реализован с использованием операций растровой алгебры, с последующим сравнением данных полученных этими методами.

Также использование операций растровой алгебры позволяет оценивать абсолютные значения распределения солнечной радиации и, как было отмечено, позволяет оценить экстремумы распределения потоков. Оценка экстремумов наиболее применима при начальных оценках энергopotенциала территории.

Геоинформационные слои расчета потоков солнечной радиации также необходимы, прежде всего, для анализа влияния рельефа на термический режим территории.

2.5. Теоретические основы оценки режима облачности

Дальнейшая задача состоит в определении радиационных характеристик с учетом влияния облачности. Для этого могут быть использованы и используются различные качественные и количественные характеристики облачности.

Перенос радиации в облачной среде определяется теми же законами рассеяния и поглощения лучистой энергии, что и в безоблачной атмосфере. Различия в поглощении и рассеянии по сравнению с безоблачной атмосферой вызываются только различиями в величине и концентрации аэрозольных

частиц. Размеры облачных частиц как в облаках верхнего яруса, состоящих из ледяных кристаллов, так и в капельножидких облаках среднего и нижнего ярусов наиболее часто имеют диаметр нескольких (5—15) микрон. Более крупные капли (диаметром в несколько десятков микрон) наблюдаются в облаках форм Ns и Cb, особенно в средних и верхних частях последних [28, 29, 53].

В тонких облачных слоях с незначительной концентрацией облачных частиц преобладает однократное рассеяние радиации. Но в более плотных облаках со значительной объемной концентрацией капель (порядка сотен в 1 см^3) направленный поток радиации при распространении в облаке испытывает многократное рассеяние, в результате возникают значительные величины альбедо облаков, близкие к величинам альбедо чистого снега. Кроме рассеяния, радиация в облаке может частично поглощаться каплями или кристаллами, образующими облако.

Как видно из рис. 2.11, наибольшей оптической плотностью отличаются слоисто-дождевые и кучево-дождевые облака, наименьшей — перисто-слоистые, состоящие из ледяных кристаллов [28, 29, 53]. Данные коэффициенты необходимы для расчета влияния облачных характеристик на потоки солнечной радиации с использованием средств растровой алгебры. Поэтому влияние облачности на радиационный режим существенно зависит не только от количества облаков, но и от их формы. Группировка по типам облачности с ярусным распределением будет использоваться для определения минимальных и максимальных значений потоков радиации. Обычная метеорологическая группировка облаков по ярусам хорошо отражает и различие их влияния на радиационный режим. Облака верхнего яруса (Ci, Cs, Cc), состоящие из ледяных кристаллов со сравнительно небольшой объемной концентрацией, оказывают на радиационный режим лишь небольшое воздействие, уменьшая незначительно прямую солнечную радиацию и увеличивая рассеянную. Облака среднего яруса (As и Ac) очень заметно уменьшают прямую радиацию и сильно увеличивают рассеянную.

Облака нижнего яруса, закрывая солнечный диск, полностью прекращают доступ к земной поверхности прямой солнечной радиации. Так как наибольшее влияние на радиационный режим оказывают облака нижнего яруса, то существенное уточнение расчетов радиационных характеристик оказывается возможным в тех случаях, когда кроме определения общего количества облаков, оценивается в отдельности и степень покрытия неба облаками нижнего яруса.

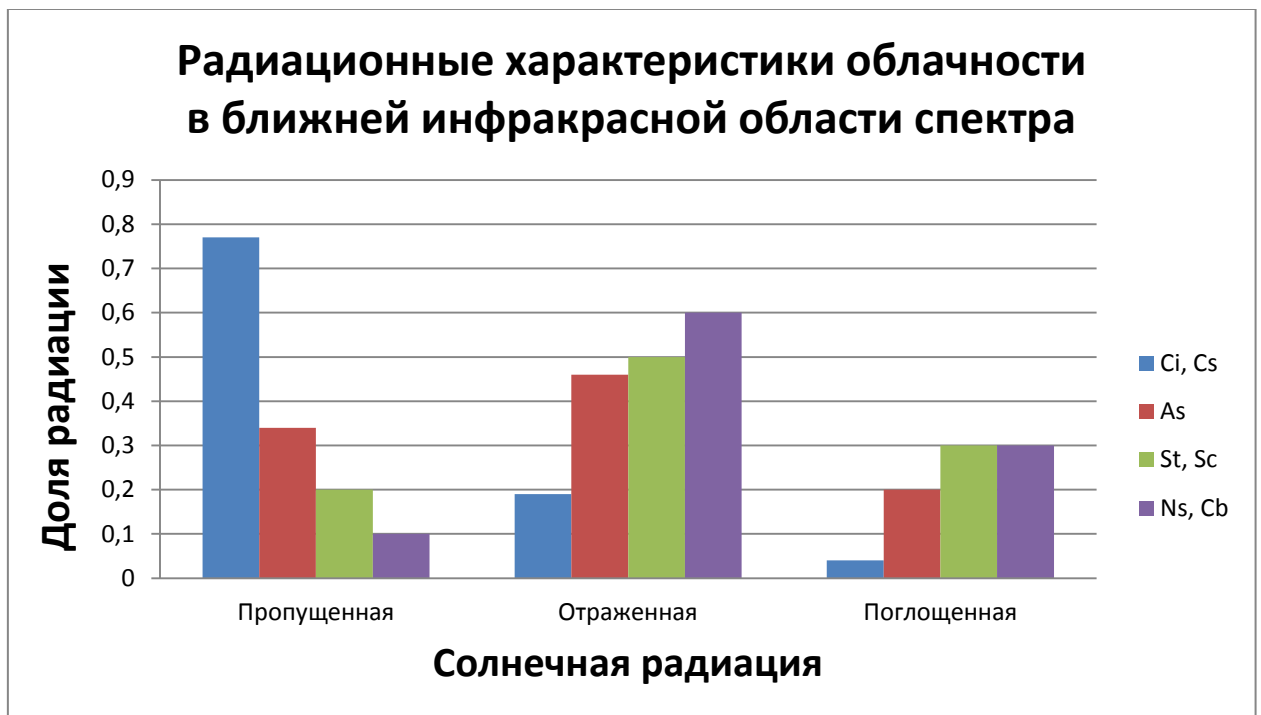


Рис. 2.11. Радиационные характеристики облачности в ближней ИК области спектра

Также стоит отметить, что изменения астрономического фактора и изменчивость облачности характеризует продолжительность солнечного сияния. Продолжительностью солнечного сияния называется время, в течение которого Солнце находится над горизонтом, не закрыто облаками и прямые солнечные лучи освещают земную поверхность.

Таким образом, наиболее важными параметрами при оценке влияния режима облачности на микроклимат являются:

- количество и форма облачности,

- продолжительность солнечного сияния.

При отсутствии прямых измерений продолжительности солнечного сияния предлагается способ определения такой продолжительности с помощью оценки состояния небосвода по срочным измерениям на АМСГ (получасовой и часовой интервал) (рис. 2.12). Безоблачное состояние небосвода и сплошная облачность нижнего яруса могут выступать как границы интервала минимальных и максимальных значений потоков радиации.

Альтернативный подход к учету облачных кондиций можно реализовать следующим методом (рис. 2.13). Использование информации, получаемой, например, со спутников TERRA/AQUA (MODIS), NOAA (AVHRR) с последующей дешифровкой и выделением полигональных слоев. Дальнейшее введение поправочных коэффициентов на пространственное распределение типов облачности позволит отразить фактические потоки солнечной радиации. Такой подход имеет наибольшую применимость в мониторинговых исследованиях.

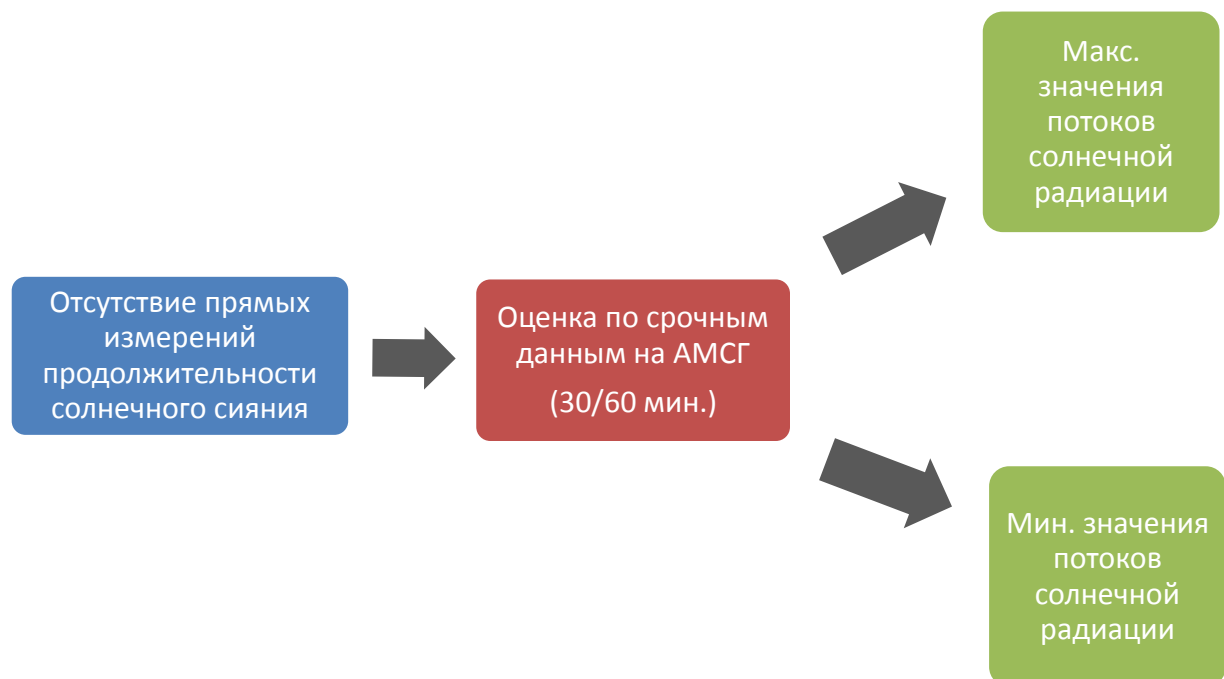


Рис. 2.12. Схема учета облачности при отсутствии прямых измерений

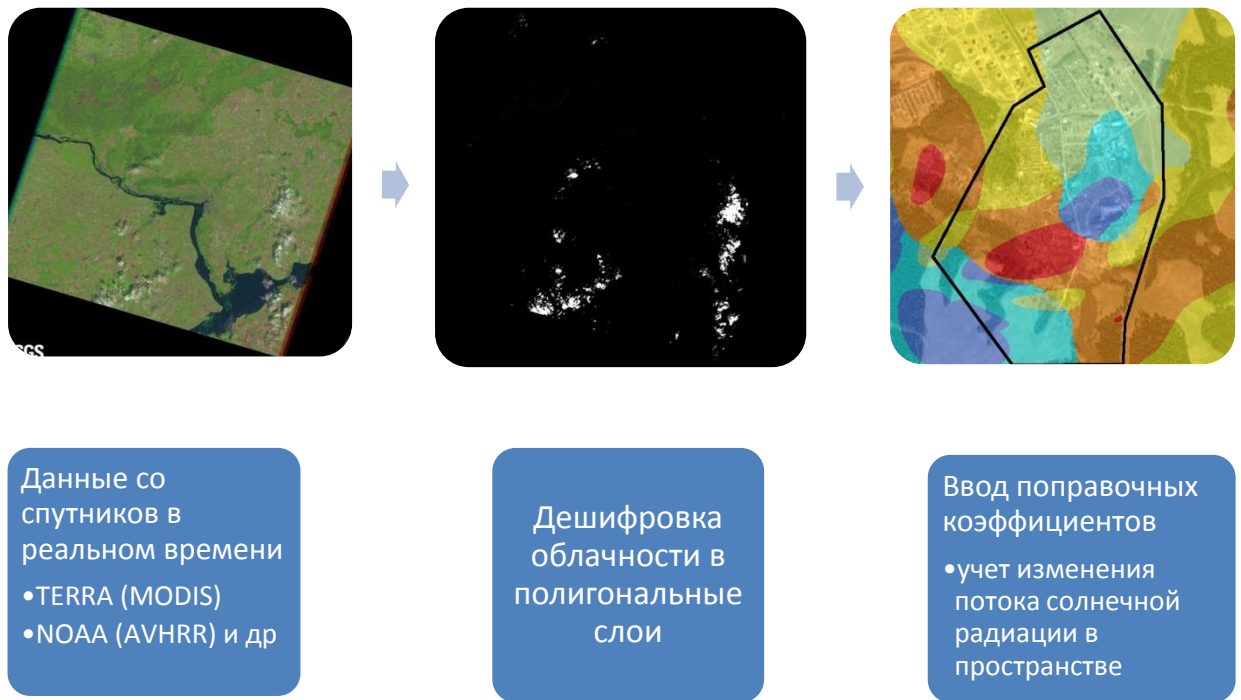


Рис. 2.13. Схема учета облачности с использованием оперативной спутниковой информации

2.6. Методика оценки ветрового режима

Общие наблюдения показывают, что топография имеет значительное влияние на климат у поверхности земли, и тем самым оказывает влияние на обмен энергией и влагой между поверхностью земли и атмосферой.

В качестве показателей вентилирования воздуха вне зданий используется средняя скорость ветра с поправками на антропогенный и естественный ландшафты.

Можно выделить несколько основных методов оценки ветровых ресурсов территории [79, 88, 102]:

- Непосредственные измерения параметров ветра, с получением ряда измерений, имеющих значительную продолжительность.
- Непродолжительные измерения параметров ветра. Климатическая репрезентативность достигается путем измерений в течение 5-10

лет. Далее определяется корреляционная связь с длинным рядом измерений.

- Использование глобальных баз данных ветров (NCEP/NCAR, ECMWF).
- Для стран, имеющих продолжительные наблюдения на плотной сети наблюдений за ветром, использование ветрового атласа является широко используемым методом для исследования ветровых ресурсов.
- Мезомасштабное моделирование. Как правило, моделируются области в несколько сотен квадратных километров.
- Комбинированное мезо/микро масштабное моделирование. Использование такой схемы предполагает объединение результатов мезомасштабного моделирования с использованием микромасштабной параметризации. Мезомасштабное моделирование производится с разрешением примерно в 5 км. Локальные прогнозы делаются с использованием микромасштабной параметризации, используя выходные данные мезомасштабной модели.
- Методы, использующие расчеты в геоинформационных системах.

Методы, использующие комбинированные подходы представляются наиболее актуальными. Использование мезомасштабных моделей в настоящее время получило широкое распространение. Прогностические данные с поправками на локальный рельеф, рассчитанные с применением ГИС-технологий, должны обеспечить достаточную точность конечной информации. Выявление же локальных особенностей наиболее целесообразно выполнять с использованием геоинформационных систем. Все дальнейшие работы также выполняются с использованием геоинформационной системы ArcGIS.

В тех случаях, когда необходимы точные оценки ветровых ресурсов, следует обращаться к модельным расчетам по методу Дюшен-Мюрилаза [10].

Этот метод имеет особую значимость для проведения исследований в плотной городской застройке. Для выполнения задач, поставленных в данной работе, такая точность не является необходимой. Для лучших результатов расчета необходимы спутниковые снимки сверхвысокого разрешения (0,5 м и менее), позволяющие учесть геометрию зданий. Снимки такого разрешения не являются общедоступными, поэтому использование данного метода имеет ограниченную применимость.

Также стоит отметить, что наиболее простым способом введения поправок на естественный ландшафт является использование эмпирических таблиц, разработанных в ГГО им. А.И. Воейкова (табл. 2.3) [32, 47, 48, 50]. Современная интерпретация и реализация данного метода в геоинформационной среде в силу его простоты и универсальности будет рассмотрена далее. Также будет проведена оценка полученных результатов расчетов.

Предлагается использовать следующие исходные данные для проведения микромасштабной параметризации:

- созданную ЦМР территории;
- рассчитанные на основе интерполяционных расчетов по ЦМР слои экспозиции и уклонов местности.

Итогом расчетов будут являться слои геоинформационной системы с введенными поправками (коэффициентами) на естественный ландшафт, характеризующие искажение естественного ветрового потока в зависимости от характеристик ландшафта.

Суть предлагаемого метода заключается в следующем: для создания слоев, показывающих коэффициенты изменения скорости ветра, слой экспозиции и слой уклонов совмещается, и полученный слой делится прикладными средствами ArcGIS на три равные части – часть у подножия возвышенности, склон и верхняя часть возвышенности (рис. 2.14). На основе этого выделяется три зоны изменения скорости ветра.

Таблица 2.3

**Коэффициенты изменения скорости ветра в различных условиях
рельефа по сравнению с условиями на открытом ровном месте**

Форма рельефа	Скорость ветра	
	2-4 м/с	5-8 м/с
Открытое ровное место	1,0	1,0
Вершины открытых возвышенностей:		
$\Delta h > 50\text{м}$	1,5	1,2
$\Delta h < 50\text{м}$	1,4	1,1
Наветренные склоны крутизной 3-10°:		
верхняя часть	1,3	1,1
средняя часть	1,0	1,0
нижняя часть	1,0	0,9
Параллельные ветру склоны крутизной 3-10°:		
верхняя часть	1,1	1,0
средняя часть	0,9	0,8
нижняя часть	0,8	0,7
Подветренные склоны крутизной 3-10°:		
верхняя часть	0,9	0,8
средняя часть	0,8	0,7
нижняя часть	0,7	0,6
Дно долин, лощин, оврагов:		
продуваемых ветром	1,1	1,0
не продуваемых ветром	0,8	0,7
замкнутых	0,6 и менее	0,6 и менее
Холмы с плоскими вершинами и пологими склонами крутизной 1-3°:		
вершины, верхние части наветренных и подветренных склонов	1,3	1,3
средние и нижние части таких склонов	1,0	1,0

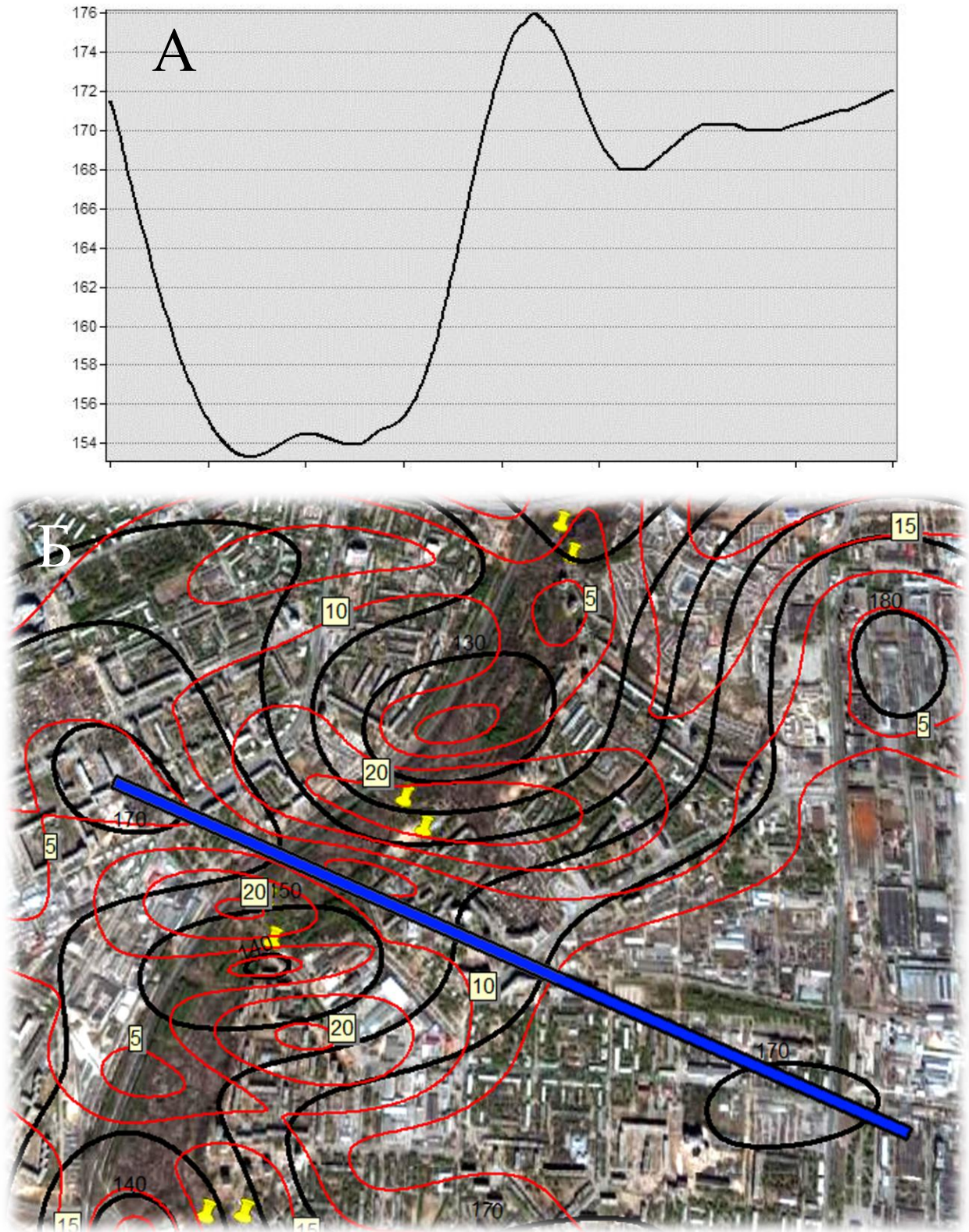


Рис. 2.14. Построение продольного профиля высот для долины р. Данилиха
 А) представление профиля средствами 3DAnalyst,
 Б) территориальное расположение построенного профиля (цветом выделена линия профиля высот)

Присвоение коэффициентов осуществляется в следующих градациях (рис. 2.15):

1. большое усиление ветра ($K=1,3-1,5$);
2. усиление ветра ($K=1,1-1,2$);
3. нормальные скорости ($K=0,9-1,0$);
4. ослабление ветра ($K=0,8$ и менее).

Для деления объектов по зонам высот и проведения подобного районирования большое практическое значение приобретает такая характеристика территории, как градиент высоты, или уклон местности. В зависимости от подхода к его исчислению выделяется два типа уклона, размер которых по-разному влияет на ландшафт.

Первый тип – общий уклон. Определяется по направлению большего показателя градиента высоты. Максимальный уклон чаще всего определяется по направлению общего уклона земной поверхности в пределах данного ландшафта локального уровня (чаще всего урочищ, соответствующих одной форме мезорельефа).

Второй тип – профильный уклон, или наклон поверхности земли по линии какого-либо секущего профиля. Использование данного типа уклона необходимо при построении геоинформационных слоев изменений скорости ветра. Построение такого профиля выполнялось средствами модуля 3D Analyst в ArcGIS (рис. 2.14).

Итогом построения являются векторизованные слои коэффициентов изменчивости скорости ветра при различных направлениях воздушного потока.

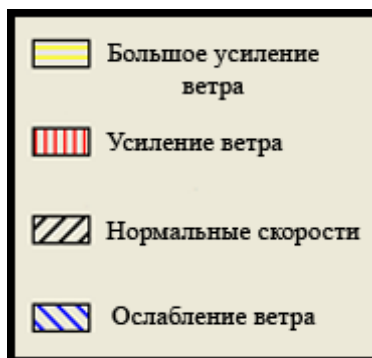


Рис. 2.15. Условные обозначения изменчивости скорости ветра

Предлагается использовать следующие градации:

- по скорости – 2–4м/с, 5–8м/с;
- по направлению воздушного потока – северное, западное, южное и восточное.

2.7. Комплексная оценка, реализованная в геоинформационной среде

Комплексный подход, включающий в себя теоретические и полевые исследования микроклимата, становится все более важным для построения пространственных моделей ландшафтов, используемых в исследованиях. Задача развития микроклиматических моделей, способных давать результаты с достаточной точностью, заключается в абстракции сложных процессов и минимизации используемых данных. Микроклиматическое моделирование имеет то преимущество, что может представлять относительно точные оценки временной и пространственной изменчивости микроклимата с минимально используемой информацией.

Комплексная оценка микроклимата (рис. 2.16), реализованная в геоинформационной среде, включает в себя:

1. Восстановление рельефа по космическим снимкам – создание цифровой модели рельефа территории.
2. Оценка особенностей рельефа – дешифровка космических снимков, с последующей оценкой крутизны и экспозиции. Возможен учет

количества поступающей прямой солнечной радиации при безоблачном небе к земной поверхности (в процентах от количества радиации на ровной поверхности). Таким образом, геоинформационный слой будет являться преобразующим коэффициентом на рельеф.

3. Оценка особенностей подстилающей поверхности – определения структуры землепользования, дифференциального альбедо застройки и естественных поверхностей.
4. Послойный расчет и анализ потоков коротковолновой радиации на разных границах в атмосфере.
5. Определение радиационных характеристик с учетом влияния облачности. Для этого используются качественные и количественные характеристики облачности.
6. Анализ термического режима территории по фактическим данным.
7. Учет влияния ландшафта на параметры ветра – введения поправок на естественный ландшафт, характеризующих искажение естественного ветрового потока в зависимости от характеристик ландшафта. Последующий анализ ветрового режима территории по фактическим данным.

Стоит отметить, что в комплексную оценку особенностей микроклимата дополнительно возможно включение режим увлажнения для большей.

Включение локальных микроклиматических параметров территории (характеристики атмосферы и орография местности) является ключевым моментом комплексной оценки.

Основная сложность выполнения оценки состоит в том, что инсоляция представляет собой случайную величину. Обычно ее рассматривают как статистическое явление, развивающееся во времени согласно законам теории вероятностей. Последовательность результатов наблюдений представляет собой временной ряд, анализируя который можно получить стохастическую модель, позволяющую вычислить вероятность того, что некоторое будущее

значение инсоляции будет лежать в определенном интервале, обладающую минимальным числом параметров и при этом адекватно описывающую исследуемый процесс.

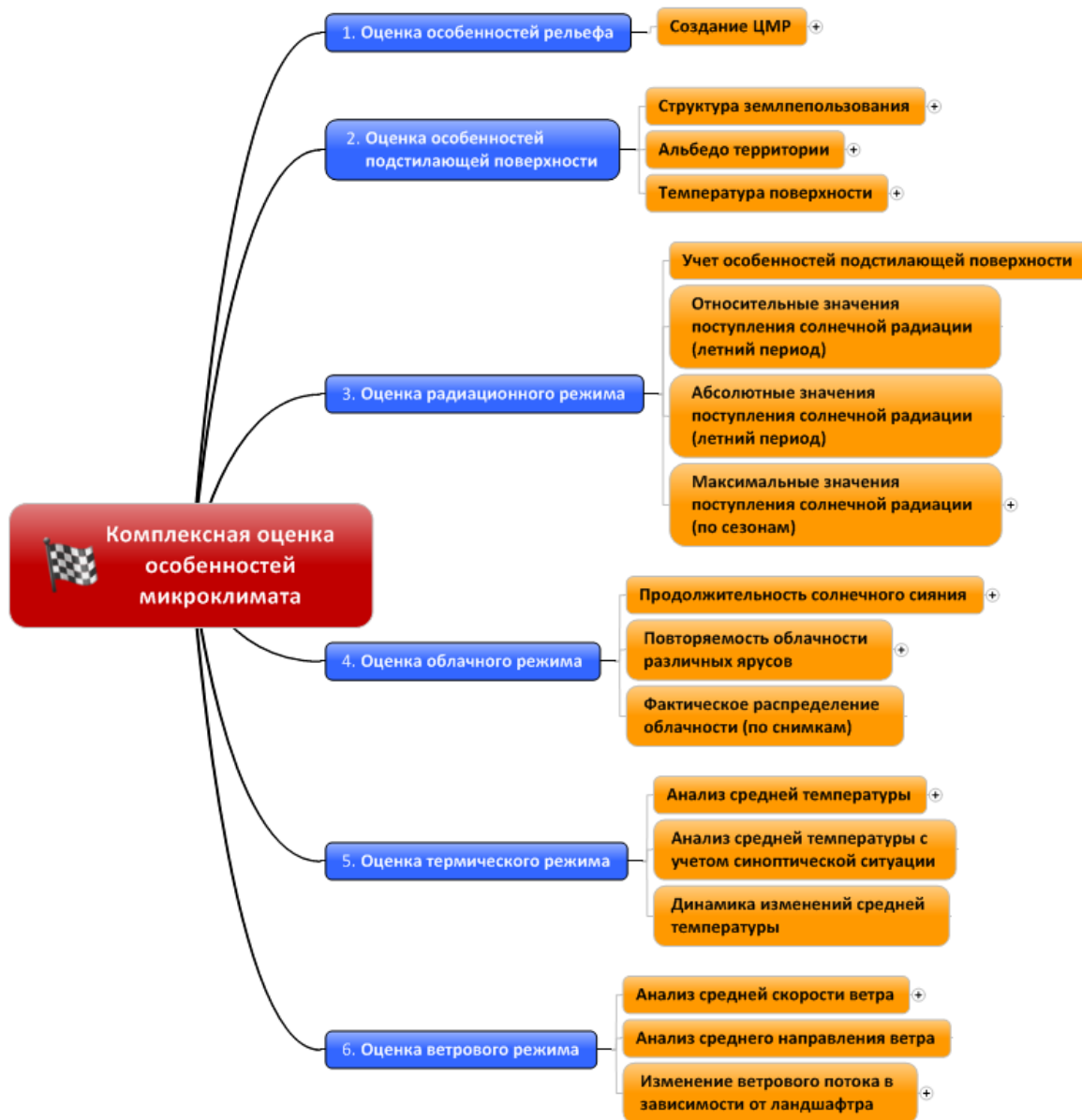


Рис. 2.16. Схема комплексной оценки особенностей микроклимата

В дальнейшем возможно построение модели, учитывающей облачную составляющую, которую целесообразно разбивать на две части [54]:

- детерминированная часть расчета дневных сумм солнечной радиации для безоблачного неба (модель безоблачного неба);

- стохастическая часть определения коэффициента ослабления солнечной радиации облачностью (модель облачности).

Детерминированная часть предназначена для расчета прямой и рассеянной солнечной радиации на земную поверхность при безоблачном небе. В этом случае искомая величина будет зависеть от функции пропускания атмосферы.

Основные выводы

1. Определена минимально необходимая информация для оценки особенностей микроклимата.
2. Предложен алгоритм оценки особенностей подстилающей поверхности.
3. Методы оценки микроклимата с помощью морфометрических показателей и соответствующих поправок на микроклимат позволяют по ЦМР без проведения специальных наблюдений дать правильную оценку микроклимата рассматриваемого ландшафтного комплекса, как с застройкой, так и без нее.
4. Предложены схема учета облачности при отсутствии прямых измерений и с использованием оперативной спутниковой информации
5. Попытки осреднения пространственных данных и их генерализация приводят к потере микроклиматической информации.
6. Возможно построение трехмерных моделей территорий, которые позволяют определить места значительных скоростных нарушений в ветровом потоке, а также дают возможность оценить степень антропогенного воздействия на территорию и количество поступающей солнечной радиации на различные естественные поверхности.
7. Информация в целях параметризации расчетных моделей должна проходить определенную адаптацию под фактические требования.

3. ОСОБЕННОСТИ РЕЛЬЕФА И ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

3.1. Восстановление рельефа по космическим снимкам

Для исследования были выбраны территории, для которых имеются ряды метеорологических измерений за продолжительный период. Это территории аэропорта «Большое Савино» (АМСГ Пермь) и микрорайона «Архирейка» (МС Пермь).

Территория аэропорта Б. Савино, расположенного в 17 км от центра г. Перми, имеет характерные особенности подстилающей поверхности: большое количество заасфальтированной территории (взлетно-посадочная полоса (ВПП), перрон для воздушных судов). Площадь комплекса аэропорта составляет 4,99 км². Рельеф местности – преимущественно ровная поверхность с небольшими уклонами в пределах 0-1°. (рис. 3.1).

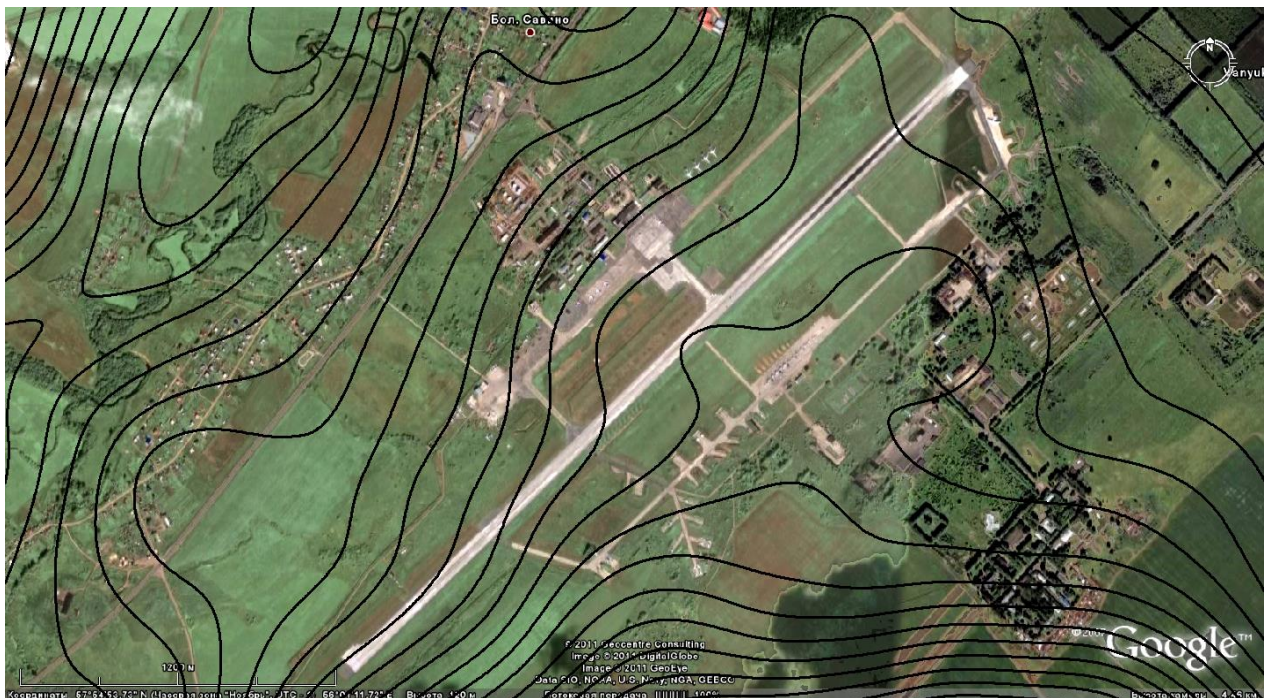


Рис. 3.1. Территория аэропорта Большое Савино.

Спутниковый снимок, GeoEye. Изогипсы проведены через 2 м.

МС Пермь находится в Мотовилихинском районе города (микрорайон «Архирейка») в пониженной форме рельефа, которая представляет собой

обширную замкнутую ложбину (рис. 3.2). Площадь микрорайона составляет 0,84 км². Уклоны местности на отдельных участках превышают 10°. Наличие жилой застройки, значительная удаленность от центральных частей города и близость к активно развивающимся районам обуславливает разнообразие видов подстилающей поверхности от антропогенных до естественных ландшафтов.

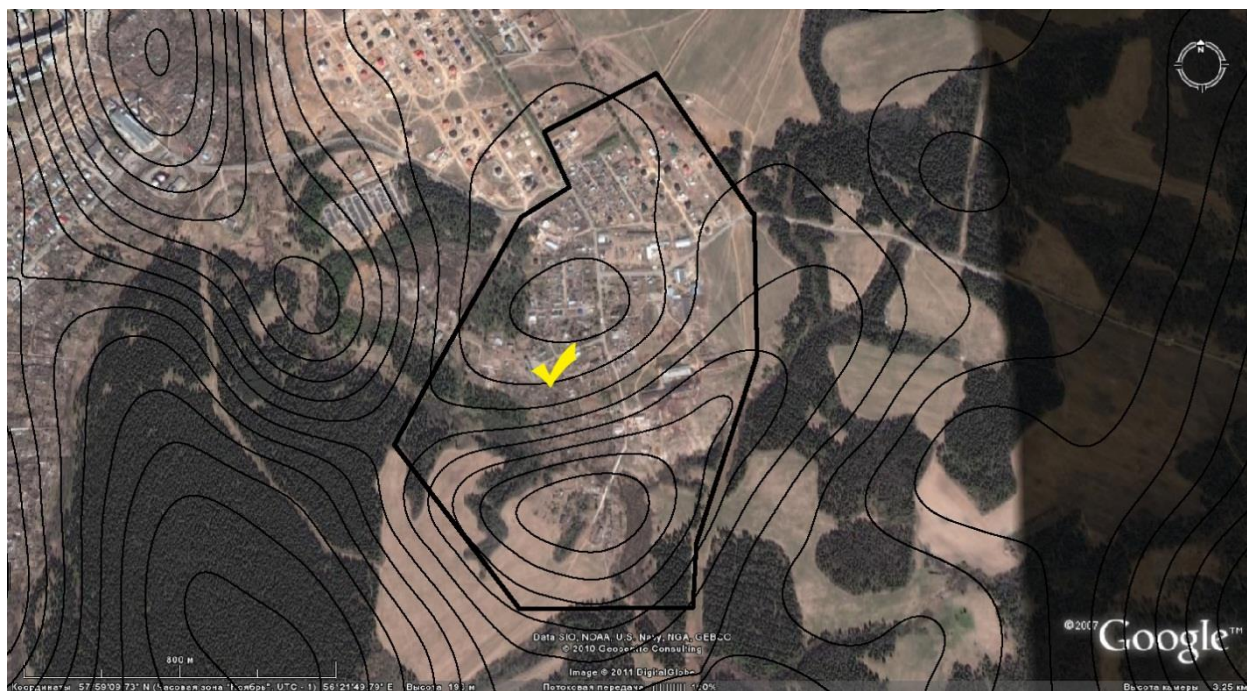


Рис. 3.2. Территория микрорайона «Архирейка».

Спутниковый снимок, GeoEye. Изогипсы проведены через 5 м.

Основная задача начального этапа – подготовка исходных данных для дальнейших расчетов и получения ЦМР. Для определения высоты поверхности над уровнем моря использовались данные SRTM.

Использование территорий, для которых возможно сравнение теоретических (расчетных) и наблюдаемых показателей, является необходимым действием для контроля получаемой информации. Так, сравнение температурного ряда аэропорта, с данными городской метеостанции дает возможность выявить температурные аномалии и особенности. Сравнение ветрового режима и расчетных коэффициентов

изменения ветрового потока, позволит оценить точность и применимость расчетных методик.

3.2. Оценка особенностей рельефа

Выявление особенностей рельефа предполагает проведение исследования первичных морфометрических характеристик. Такая оценка основана на использовании результатов расчета слоев уклона и экспозиции.

Извлечение необходимых данных конкретной территории из общего растрового слоя предлагается выполнять с использованием выделенного слоя маски территории.

Максимумы прихода солнечного излучения, обусловленные параметрами солнечного сияния, становятся ограничивающими факторами, в пределах которых может отмечаться изменчивость притока радиации и влияние ориентации склонов. Очевидно, что на склоны с южной ориентацией будут фиксировать максимальные значения приходящей солнечной радиации. В свою очередь минимальные значения будут отмечаться на северных склонах (рис. 3.3).

Крутизна склонов также оказывает значительное влияние на микроклиматические особенности территории, но несколько меньшее, чем экспозиция. Влияние данного фактора находится для каждого из склонов в разных пределах. Наибольшую значимость крутизна склонов имеет для склонов южной и северной экспозиций. Увеличение крутизны склонов будет приводить к уменьшению поступающей солнечной радиации на северные склоны и увеличению на южные. Стоит также отметить, что, при прочих равных условиях, уменьшение притока радиации на северных склонах будет несколько больше, чем увеличение на южных склонах (рис. 3.4). Это зависит от высоты солнца над горизонтом, особенно при малых ее величинах.

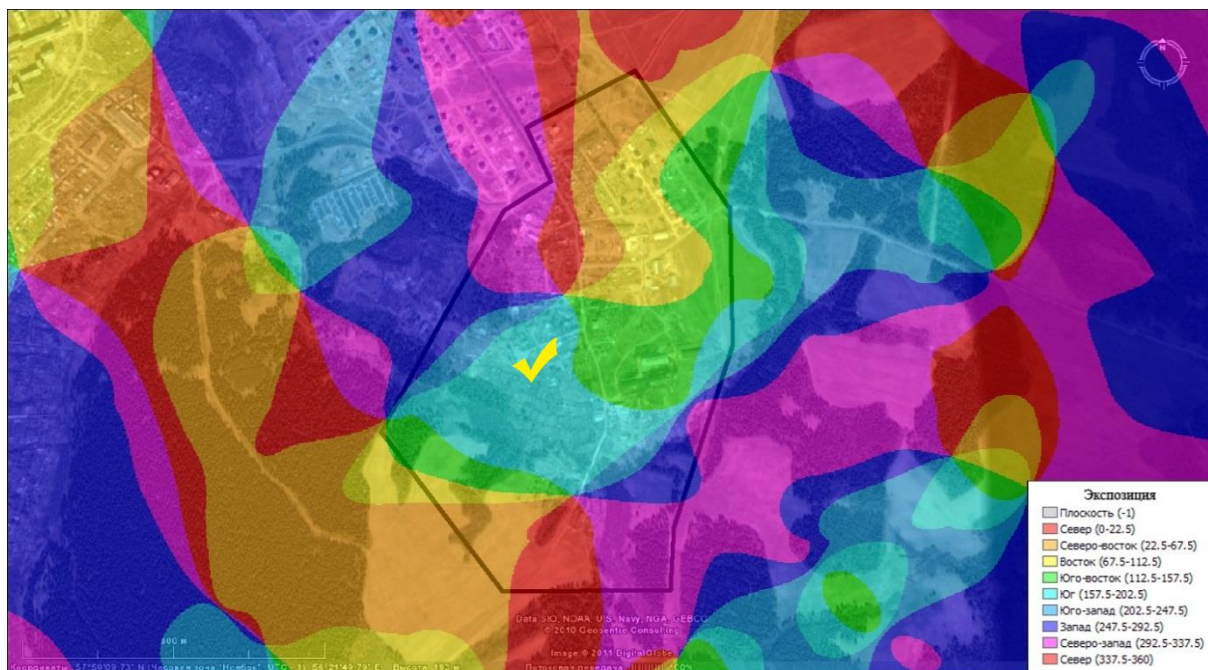


Рис. 3.3. Пример расчета экспозиции склонов (микрорайон «Архирейка»)

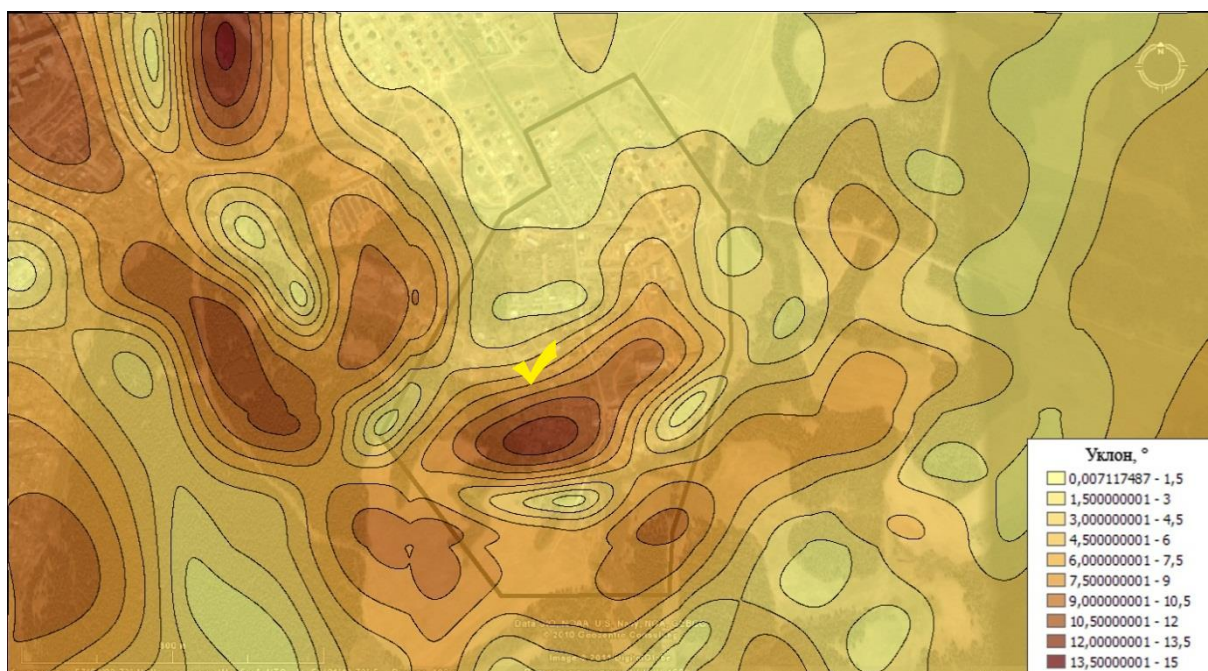


Рис. 3.4. Пример расчета крутизны склонов (микрорайон «Архирейка»)

Анализ показывает, что более половины территории микрорайона «Архирейка» расположено на высоте более 150 м (табл. 3.1). Отмечаемые перепады высот свидетельствуют о неоднородности подстилающей поверхности, наличие таких типов рельефа, как ложбина и возвышенность, что хорошо видно на спутниковом снимке с изолиниями высот. Возвышенность расположена в северной части микрорайона. Существенное

сгущение изогипс в центральной части свидетельствует о значительных величинах уклона местности (табл. 3.2). Территория аэропорта Б. Савино преимущественно занимает площади с высотой, находящейся в диапазоне высот 110-120 м. Отмечается некоторое повышение высот в южной части, что свидетельствует о том, что в этой части наблюдается группа холмов.

Таблица 3.1

Диапазоны высот исследуемых территорий (процентное соотношение)

Высоты, м	Микрорайон «Архирейка»	Аэропорт Б. Савино
110 – 120	–	96%
120 – 130	–	4%
130 – 140	6%	–
140 – 150	26%	–
150 – 160	22%	–
160 – 170	46%	–

Таблица 3.2

Пространственная статистика величины уклона местности (процентное соотношение)

Уклон, градусы	Микрорайон «Архирейка»	Аэропорт Б. Савино
0 – 1,5	15%	67%
1,5 – 3	18%	33%
3,0 – 4,5	13%	–
4,5 – 6	12%	–
6,0 – 7,5	17%	–
7,5 – 9	13%	–
9,0 – 10,5	7%	–
10,5 – 12	3%	–
12,0 – 13,5	2%	–

Из табл. 3.2 видно, что примерно 95% массива микрорайона «Архирейка» расположено на территории с уклоном до $10,5^\circ$. Ровная поверхность (до 3° уклона) соответствует 33% территории. Как и было отмечено, максимальный уклон отмечается в центральной части территории, где наблюдается смена форм рельефа «холм-ложбина». В целом, данное распределение уклонов местности будет способствовать определенному перераспределению поступающей к поверхности солнечной радиации и искажению ветрового потока. Для аэропорта Б. Савино характерны незначительные уклоны местности, в силу специфики использования территории. Будет отмечаться незначительное перераспределение солнечной радиации и небольшое искажение ветрового потока.

Как было отмечено, экспозиция склонов играет существенную роль в нагревании поверхности за счет поступающей солнечной радиации. Разнообразие экспозиции склонов исследуемых территорий приводит к значительным вариациям освещенности, которые достаточно эффективно могут быть оценены с помощью геоинформационных систем. На территории микрорайона «Архирейка» преобладали склоны южной ориентации (табл. 3.3). Практически четверть (23%) территории занимает северный склон. Таким образом, суммарная площадь южных и северных склонов составляет 73%. Преобладание противоположных экспозиций свидетельствует о том, что данная территория имеет сложную орографию, которая приводит к изменению соотношения поступления солнечной радиации в сравнении с ровной поверхностью. Можно видеть, что для района аэропорта Б. Савино преобладающим типом склона является северный (42%), далее – восточный склон (17%). Такое соотношение для аэропорта Б. Савино свидетельствует об увеличении высот местности в южном и западном направлениях, и некотором уменьшении поступления солнечной радиации на преобладающие склоны [17]. Следует отметить, что уклоны небольшие, в связи с чем изменения радиации, как будет показано далее, не велики.

**Пространственная статистика по экспозиции склонов местности
(процентное соотношение)**

Экспозиция	Микрорайон «Архирейка»	Аэропорт Б. Савино
Северный склон	23%	42%
Восточный склон	16%	17%
Южный склон	50%	6%
Западный склон	12%	12%

3.3. Оценка особенностей подстилающей поверхности

Особенности подстилающей поверхности могут быть исследованы с разных позиций. Помимо исследования территорий микрорайона «Архирейка» и территории аэропорта Б. Савино, автором предлагается алгоритм по выявлению наиболее динамичных точек роста или изменения городских территории – узловых объектов, небольших территорий или микрорайонов. Так, выявление наиболее динамично развивающихся микрорайонов с последующим микроклиматическим анализом, имеет важное значение для геоэкологических исследований.

Предлагаемый процесс анализа особенностей подстилающей поверхности следует производить в следующем порядке:

1. Построение слоя пространственного распределения фактической структуры землепользования для больших территорий, сравнимых с районами города, либо городом. Лучше использовать снимки высокого разрешения (например, GeoEye, WorldView). Менее предпочтительны снимки Landsat.
2. Расчет динамики изменений в структуре землепользования. Предпочтительней использовать спутники с продолжительным по времени периодом съемки (например, Landsat).

3. Расчет динамики изменений в распределении альбедо. Исходные данные для расчета – структура землепользования по годам (Landsat).
4. Определение узловых точек существенных изменений территории.
5. Построение по выявленным точкам роста пространственного распределения фактического альбедо. Использование снимков высокого разрешения (например, GeoEye, WorldView).
6. Расчет показателей по температуре поверхностей.

Идентификация структуры землепользования по предлагаемой методике проводилась на примере Мотовилихинского района г. Перми (южная часть, на территории которой происходит активное антропогенное изменение естественных поверхностей). Территория исследования включает в себя южные микрорайоны данного района: Архирейка, Висим, Горки, Ива, Костарево, Пихтовая стрелка, Рабочий поселок, Садовый, южная часть микрорайона Гарцы (рис. 3.5). Как и в других развивающихся районах, отмечается рост населения в последние десятилетия (табл. 1 в прил.1), ведется активная застройка территорий, изменение структуры землепользования.

Для исследования были получены снимки спутников Landsat 7 и Landsat 5 с равным временным интервалом, составляющим 13 лет за летние месяцы. Данные выбирались с приблизительно равными датами съемки (конец июля – начало августа) для наибольшей сопоставимости результатов (табл. 2 в прил. 1). Период в 13 лет выбирался исходя из доступности снимков с безоблачной погодой и достаточным качеством снимков Landsat 7 после выхода из строя в 2003 г. прибора Scan Line Corrector в инструменте ETM+ при сохранении равного интервала.

Для зоны исследования получены данные, классифицирующие поверхности по 7 типам и их доля в общей площади района. Использовался временной период с 1987 года по 2013 (табл. 3.4).

**Классификация структуры землепользования в период 1987-2013 гг.
(процентное соотношение)**

Типы поверхностей (структура землепользования)	1987	2000	2013
Водная поверхность	4,83%	4,73%	4,78%
Улично-дорожная сеть	20,27%	24,26%	29,86%
Почвенный покров	12,88%	12,25%	7,22%
Крыши из светлых покрытий	4,25%	5,64%	5,78%
Лиственный лес	13,01%	11,93%	10,25%
Хвойный лес	14,44%	14,06%	13,98%
Травяной покров	30,32%	27,12%	28,13%

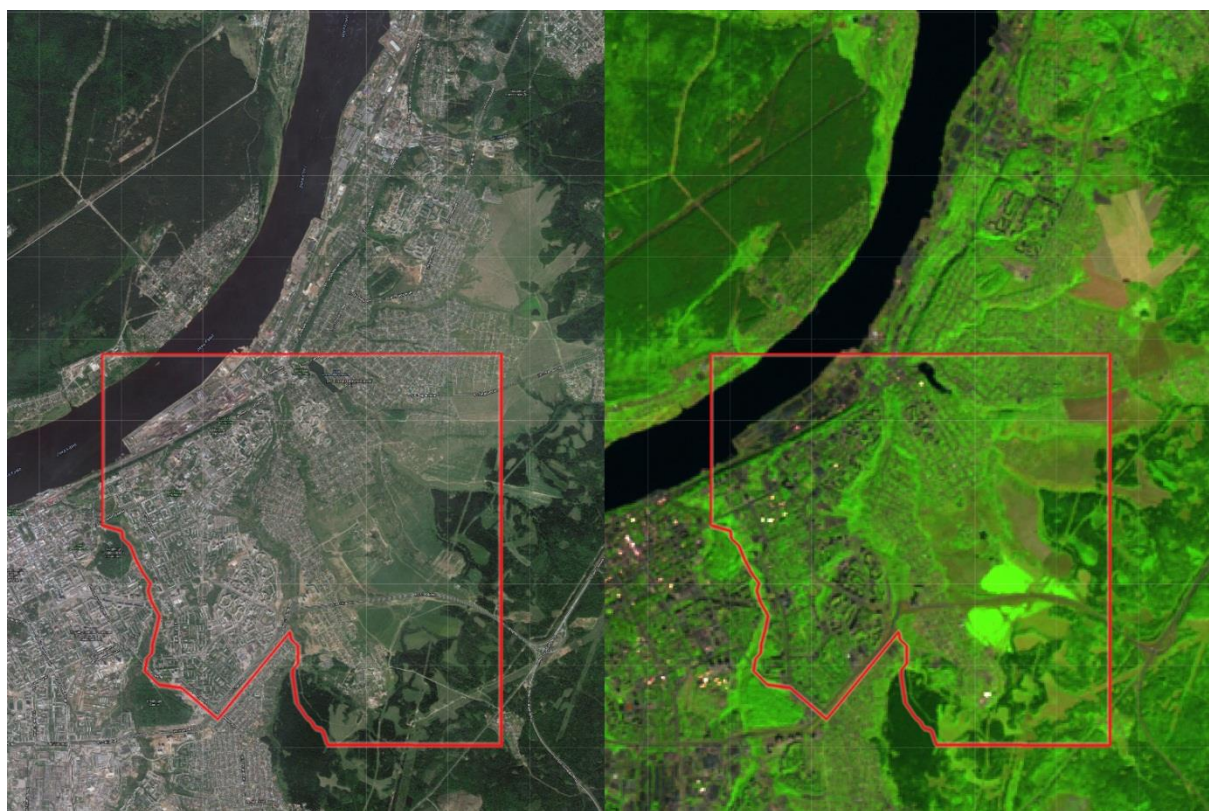


Рис. 3.5. Территория исследуемого района, выделением отмечена область исследования (2013 год). Снимок слева в комбинации каналов 3-2-1, справа 5-4-3.

Стоит отметить такую особенность: отдельное рассмотрение процентных составляющих почвенного и травяного покрова не проявляет четких тенденций изменений. Это обусловлено быстрым изменением свойств таких поверхностей, о чем отмечалось ранее в гл. 2, поэтому рассмотрение таких исследуемых зон в совокупности приводит к четкому выделению тренда изменений. На рис. 3.5 представлены два снимка: слева контрольный в естественных тонах, справа – в комбинации каналов 5-4-3 для выделения почвенно-растительного покрова (подробное описание каналов в гл. 2).

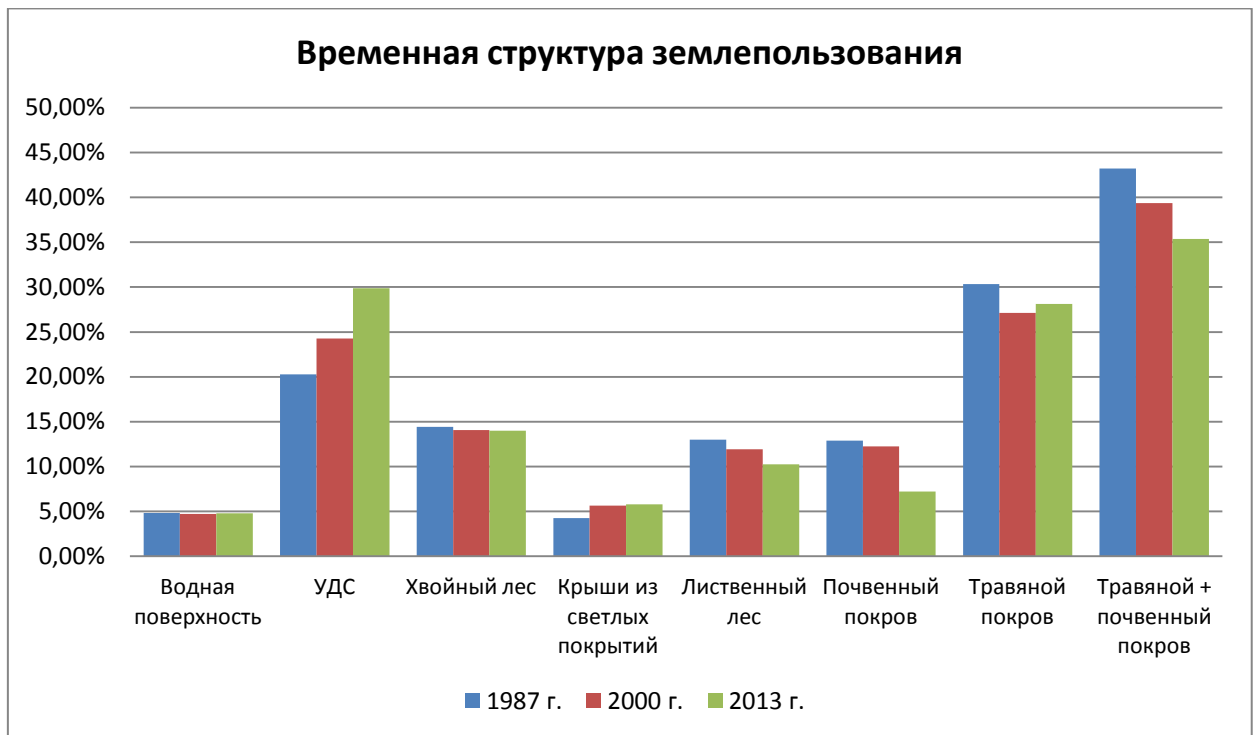


Рис. 3.6. Изменение структуры землепользования за период 1987-2013 гг.

Из рис. 3.6 видно, что преобладающими структурами территории являются:

- улично-дорожная сеть (как было отмечено ранее, застройка с темными поверхностями также включена в эту категорию) – около трети территории на 2013 г.,
- почвенно-растительный покров (сумма поверхностей травяного и почвенного покрова) – треть территории,

- лиственный и хвойный лес суммарно так же составляют около трети территории.

Так как хвойный лес находится преимущественно на окраине района, сокращение этой структуры практически не прослеживается. Площадь почвенно-растительного покрова и лиственного леса испытывает значительные воздействия, происходит их сокращение. Площадь же улично-дорожной сети увеличивается значительно, причем темпы увеличения также растут.

Чтобы оценить результаты преобразований почвенно-растительного покрова и антропогенных поверхностей, были рассчитаны относительные изменения в площадях поверхностей (Δ) между годами с 1987 по 2000, 2000 по 2013 год, и с 1987 по 2013 (рис. 3.7).

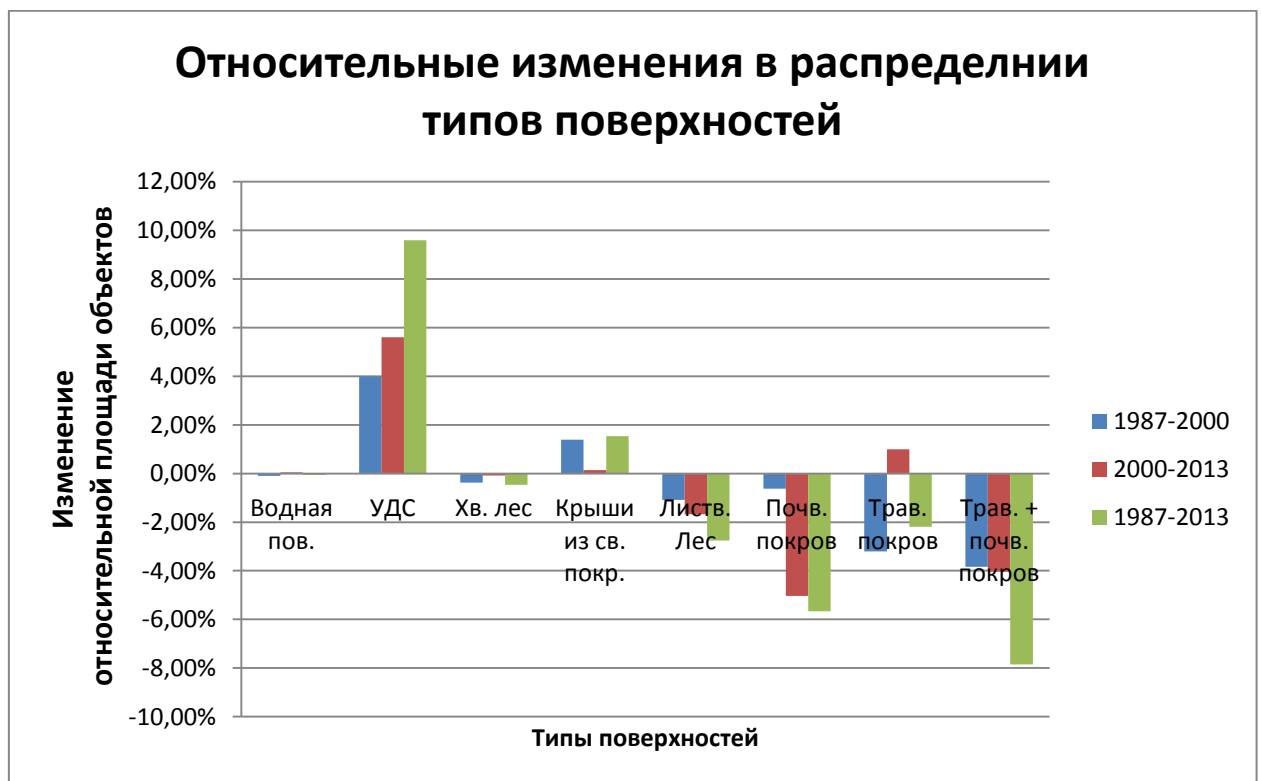


Рис. 3.7. Относительные изменения в распределении типов поверхностей за период 1987-2013 гг.

Если рассмотреть тенденцию трансформации земельных участков (рис. 3.7) и их использования, будет видно, что в каждый из рассматриваемых

периодов отмечается поэтапное снижение доли почвенно-растительного покрова. Происходит преобразование данных структур в антропогенные поверхности, в частности структуры застройки и улично-дорожной сети. Изменение водной поверхности вызвано преобразованиями береговой линии и уровня воды. Так же отмечается снижение доли лиственного леса в общей площади рассматриваемой территории. Просматривается интересная особенность, а именно сокращение почвенно-растительного покрова в каждый из 13-ти летних периодов находится примерно на равном уровне 3,83% и 4,03% соответственно. Сокращение доли лиственного леса так же идет равномерными темпами 1,08% и 1,68%. В свою очередь создание улично-дорожной сети (как было отмечено ранее, застройка с темными поверхностями так же включена в эту категорию) происходит нарастающими темпами 3,99% 5,60% соответственно в 1-ый и 2-ой периоды.

В результате за весь период исследования потери для преобладающих естественных поверхностей составили: 7,85% для почвенно-растительного покрова и 2,76% для лиственного леса. С другой стороны появление новых антропогенных поверхностей составляет: 9,59% для улично-дорожной сети (включая застройку с темными поверхностями), 1,53% для зданий со светлыми покрытиями, в сумме это более 11% территории (11,12%).

Таким образом, урбанизация в районе исследования происходит последовательными равномерными темпами. Стоит заметить, что для сохранения умеренных темпов преобразования естественной среды необходима четкая стратегия застройки, дорожного строительства с минимальным воздействием на природные поверхности. Только такой подход способен обеспечить устойчивое развитие района, иначе будет происходить дальнейшее «городское расползание» (urban sprawling).

Изменения в структуре землепользования позволяет определить альбедо городской застройки и естественных поверхностей путем расчета составляющих разнородных по отражательной способности поверхностей. После дешифровки снимков на предмет свойств подстилающей поверхности

и используя прикладные модули ArcGIS, была рассчитана зональная статистика рассматриваемой территорий (рис. 3.8).

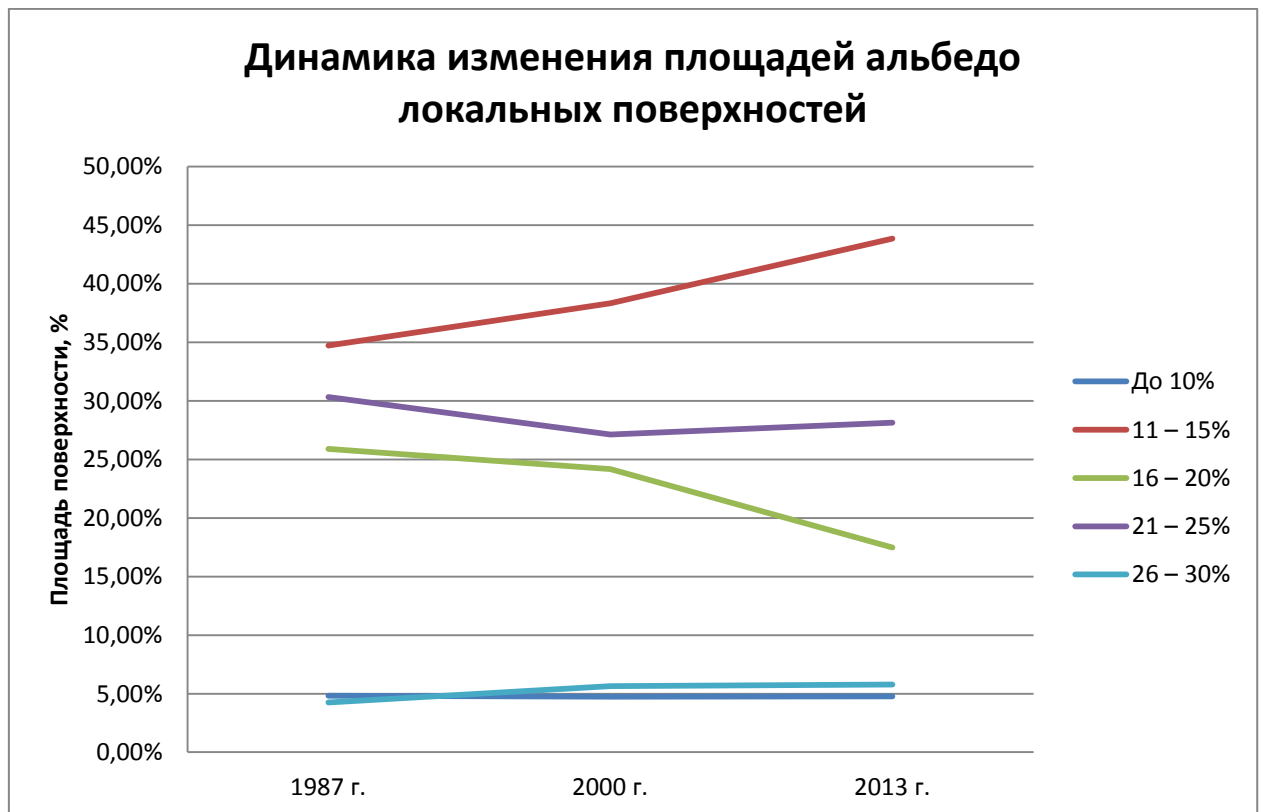


Рис. 3.8. Динамика изменения площадей альbedo локальных поверхностей в период 1987-2013 гг.

Значительную часть территории занимает поверхность, покрытая травой (от 27,12% до 30,32% в течение периода исследования), относительная доля которой неуклонно снижается. Травяной покров (среднее альbedo для поверхности 23%) существенно влияет на среднее по площади значение альbedo. Доля антропогенных поверхностей за период исследования так же существенно возросла, что привело к уменьшению альbedo территории. Таким образом, измененная часть поверхности вносит свой вклад в среднюю величину, значительно занижая ее (от 17,3% до 17,7% в течение периода исследования), что в свою очередь должно приводить к росту температуры воздуха на исследуемой территории.

Как видно из рис. 3.8, происходит неуклонное понижение альbedo в каждый из периодов, что может негативно влиять на комфортность

проживания человека. Если рассматривать непосредственно центральные части города, то альbedo должно быть значительно ниже из-за исключения вклада растительности нежилых окраин города в общую величину альbedo.

Частично может решить проблему понижения среднего альbedo территории использование материалов с высокой отражательной способностью. Это многообещающий подход, который позволит существенно снизить термическое воздействие окружающей среды города. Существуют исследования [63, 133], в которых показано, что увеличение альbedo на 25% ведет к значительному уменьшению температуры поверхности (примерно на 10°C), сохраняя ее структуру значительно прохладней под прямым воздействием солнечной радиации, при этом так же уменьшается влияние конвективных движений от материала к внешней среде. Так светлоокрашенные поверхности показывают значительное увеличение термической комфортности (thermal comfort).

Оценивая возможности снимков Landsat для подобных исследований, необходимо помнить, что представленные значения альbedo имеют некоторые допущения. Помимо точности анализа с помощью снимков, это вариация коэффициента альbedo, который зависит от многих факторов: для почвы – от увлажненности, для улично-дорожной сети – срока службы и использования покрытия, для травяного покрова – от фенологической фазы и состояния поверхности. Снимки Landsat хорошо подходят для оценки средних значений альbedo, как по площади, так и по конкретной градации, а так же динамики изменения. Но при увеличении точности дешифровки будет значительно возрастать пестрота покрытия участками с различным альbedo, в то время как средние значения должны находиться примерно в тех же границах, что и при определении по снимкам Landsat.

Выделяя точки интенсивного развития рассматриваемых городских территорий, особое внимание стоит уделить южной части района. Так активная застройка и изменение естественных поверхностей наблюдается в южной части – например, в микрорайоне «Садовый».

Рассмотрим следующий этап анализа – **расчет фактического альбедо** (рис. 3.9).

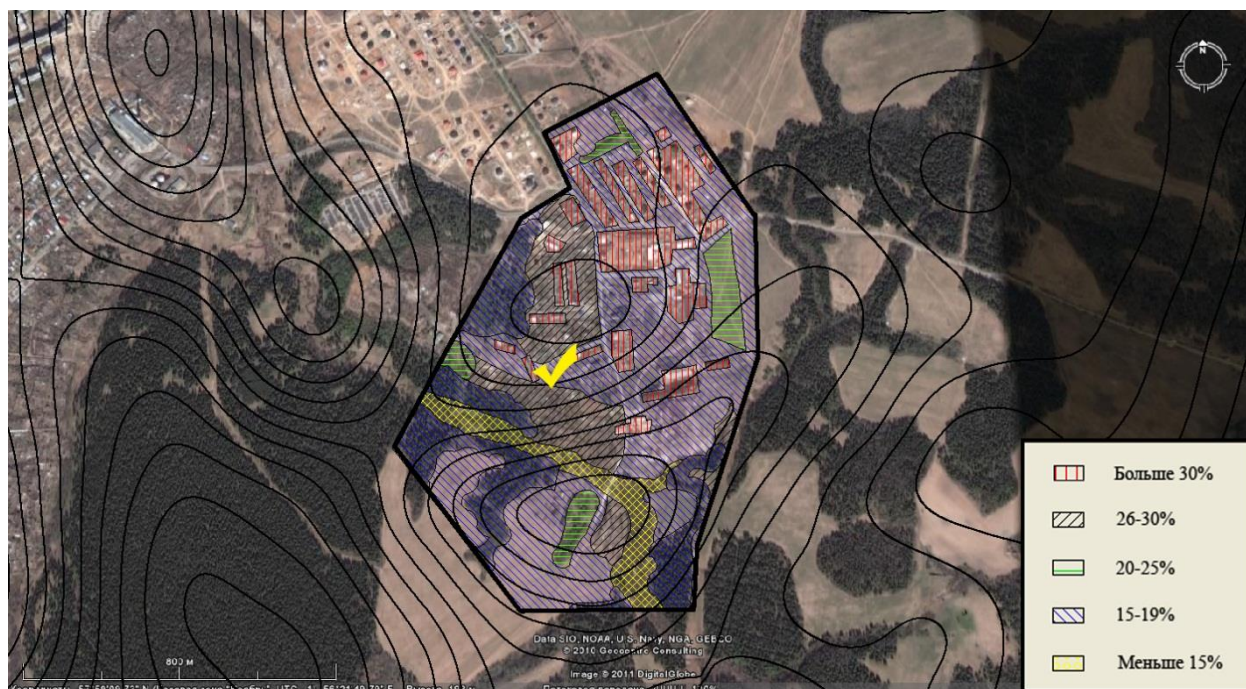


Рис. 3.9. Пример расчета дифференциального альбедо (микрорайон «Архирейка»)

Наибольший интерес для анализа представляют данные зональной статистики, сгруппированные в табл. 3.4, в которой рассматривается деление территории по 7 градациям с долей вклада в общую площадь микрорайона. Анализируя табл. 3.5, можно выделить некоторые особенности распределения альбедо. Так для аэропорта Б. Савино стоит отметить, что значительную часть территории занимает поверхность покрытая травой (67%). Оставшаяся часть территории подверглась антропогенному воздействию, включая участки, покрытые заасфальтированными поверхностями с низким альбедо, а также комплекс зданий аэропорта и в/ч «Сокол». Таким образом, измененная часть поверхности вносит свой вклад в среднюю величину альбедо, значительно занижая ее до 18%.

Район расположения МС Пермь в плане пестроты поверхностей с различной отражательной способностью существенно превосходит территорию аэропорта Б. Савино. Половина (49%) территории представлена

поверхностями с низким альбедо – лес и преимущественно выгоревшая или сухая трава. Казалось бы, только за счет этой составляющей среднее альбедо должно быть ниже, чем в районе аэропорта. Однако, за счет кровельных материалов крыш близлежащих домов с высокой отражательной способностью, среднее альбедо составило 22%. В процентном соотношении разница составила 4%, что в свою очередь должно оказать значимое влияние на термический режим территории.

Таблица 3.5

**Процентное соотношение площадей альбедо локальных поверхностей
исследуемых территорий**

Альбедо локальных поверхностей	Аэропорт Б. Савино	Микрорайон «Архирейка»
До 15%	10%	5%
15-19%	23%	49%
20-25%	67%	7%
26-31%	—	24%
Более 31%	—	15%
Среднее альбедо	18%	22%

Оценка теплового эффекта «городского острова тепла» может быть выполнена по данным зональной статистики на основе построенных карт альбедо (табл. 3.6). В этом случае температура поверхности в соответствии с предлагаемыми во второй главе методами расчета зависит от типа подстилающей поверхности с учетом вклада каждой из градаций в общую площадь.

Рассмотрим на примере пригорода г. Перми (пос. Б. Савино) и городского микрорайона «Архирейка» применимость данной методики. Исследуемые территории характеризуется сочетанием разнообразной растительности, участков сельских поселений с малоэтажной застройкой и различных инфраструктурных объектов.

Оценка теплового эффекта «городского острова тепла»

Тип поверхностей	Площадь поверхности		Температура поверхности
	Аэропорт Б. Савино	Микрорайон «Архирейка»	
Деревья, трава, растительность	72%	63%	15 - 38°C
Светлые покрытия	8%	12%	49 - 60°C
Темные покрытия	10%	–	60 - 71°C
Крыши	10%	25%	66 - 88°C
Суммарная территория (средняя температура поверхности по территории)	100% (27-48°C)	100% (32-53°C)	

Стоит отметить, что поверхности, распределенные в 4 группы, могут отличаться по величине альбедо. Так, в группу «Деревья, трава, растительность» попадают такие поверхности, как лес хвойный (альбедо 10-15%), лес лиственный (альбедо 15-20%), трава зеленая (альбедо 20-26%). Подобный подход применяют в строительстве для оценки нагрева конструкций и материалов под воздействием солнечной радиации. Применяется формула Шкловера А.М. (3.2):

$$t_{нов} = t_n + \frac{\rho S}{\alpha_n} \quad (3.1.)$$

где $t_{нов}$ – температура наружной поверхности ограждения (или конструкции), t_n – температура наружного воздуха, ρ – коэффициент поглощения солнечной радиации материалом ограждения, S –

интенсивность солнечной радиации, α_n – коэффициент теплообмена у наружной поверхности ограждений. Температура наружной поверхности, в свою очередь, зависит от теплоемкости материала.

Из табл. 3.6 видно, что как для территории аэропорта, так и для территории микрорайона, преобладающим типом поверхности является растительность. Это наиболее холодная поверхность, в связи с этим наблюдается значительное понижение средней по площади температуры поверхности. Однако, территория микрорайона имеет более плотную застройку и отмечается значительно большее процентное соотношение наиболее горячих поверхностей, которыми являются крыши, в основе которых используют теплоемкие материалы.

Если принять температуру поверхности первой группы («Деревья, трава, растительность») за фоновую, то можно определить среднее превышение температуры антропогенных поверхностей над фоновой. Так, для территории аэропорта превышение составляет 10-12°, для территории микрорайона – 15-17°. Данные цифры имеют оценочный характер, т.к. данные по температурам поверхности были получены для более высоких широт [87].

Таким образом, в теплое время года влияние городской застройки на тепловой баланс выражается, главным образом, в увеличении поглощенной солнечной радиации за счет снижения альбедо территории города по сравнению с незастроенными территориями и с последующим аккумулялированием поглощенного тепла поверхностями.

Основные выводы

1. Для микрорайона «Архирейка» характерна сложная орография, две формы рельефа – ложбина в центральной части и возвышенность в северной, ровная поверхность составляет менее 20% территории, преобладают склоны южной экспозицией.

2. Для территории аэропорта Б. Савино характерны минимальные орографические особенности – равнина с минимальными уклонами местности, две трети территории имеют уклоны, не превышающие $1,5^\circ$, преобладают северные склоны за счет холмистой территории в южной части.
3. Методику оценки особенностей подстилающей поверхности можно представить как двухуровневую модель, включающую этапы: получение базиса расчетов (структура подстилающей поверхности); получение производных характеристик (в данном исследовании альбедо).
4. В период с 1987 по 2013 гг., площадь антропогенного воздействия на южную часть Мотовилихинского района увеличилась значительно (более 10%), воздействие происходит равномерными темпами. Отмечается массовое сокращение (более 10%) почвенно-растительного покрова и зеленых насаждений.
5. Урбанизация, активная антропогенная деятельность и сокращение естественных территорий являются основными доминирующими факторами, влияющими на изменение структуры землепользования и величину альбедо территории.
6. Рассчитана теоретически возможная температура поверхности территорий для времени максимального прогрева. По данным расчетов аккумулярующие показатели поверхностей территории микрорайона «Архирейка» выше, чем на территории аэропорта.
7. Среднее альбедо микрорайона «Архирейка» выше, чем территории аэропорта на 4%.
8. Снимки спутников Landsat применимы при микроклиматических исследованиях: для оценки структуры землепользования, определения альбедо территории. Дана краткая оценка применимости спутниковых снимков для подобных исследований.

4. РАДИАЦИОННЫЙ РЕЖИМ ТЕРРИТОРИИ

4.1. Оценка режима облачности

Как было отмечено ранее, облачность играет важную роль при формировании микроклиматических особенностей территории, оказывая существенно влияние на радиационный баланс.

В этой части работы автором выполнен анализ временных изменений облачного покрова над территорией города Перми по данным АМСГ Пермь. Использовались срочные данные, количество облаков указано в октантах в соответствии с измерениями на АМСГ (табл. 3 в прил. 1), N_1 – общее количество облаков, N – количество облаков нижнего яруса, H_L – высота нижней границы облачности.

Анализу подвергались данные по летнему периоду, в связи с тем, что наибольший приток солнечной радиации приходится на этот период.

Рассмотрены следующие показатели:

- количество общей и нижней облачности по срокам,
- повторяемость безоблачной погоды,
- повторяемость облачности нижних ярусов.

Балл общей облачности необходим для метода расчета действительных сумм радиации по общей облачности, который основан на простых предпосылках. Предлагается использовать следующий алгоритм учета облачности: если средняя за некоторый период общая облачность (в долях единицы) равна N , то разность $1-N$, называемая «степенью ясности» по общей облачности, представляет часть небесного свода, свободную от облаков [23, 53]. Средняя степень ясности соответствует также относительной продолжительности периода, в течение которого солнце не закрывалось облаками. В первом приближении, считая облака непрозрачными для прямой солнечной радиации, относительную сумму

прямой радиации можно принять равной степени ясности по общей облачности.

Общая облачность учитывается независимо от формы облаков. Между тем влияние облачности на радиацию определяется не только количеством облаков, но и их формой. При обобщении большого числа случаев величины постоянных параметров в расчетных формулах статистически обобщают типичные сочетания различных форм и их повторяемость, характерные для данного пункта [19, 30, 53]. Так как эти средние характеристики облачности мало меняются в пространстве, то и постоянные параметры формул оказываются сравнительно устойчивыми. В дальнейших расчетах, как будет показано, возможен учет и формы облаков.

Одновременно с оценкой общей облачности производится оценка средней за период степени покрытия неба облаками нижнего яруса. Облачность нижнего яруса оказывает наиболее существенное воздействие на радиационный режим, так как облака этого типа, закрывающие солнечный диск, почти не пропускают прямую солнечную радиацию.

На основе имеющихся данных автором была сделана попытка расчета действительных сумм радиации по общей облачности. Осуществлялся перевод октантов в баллы. Так, один октант это 0,125 долей единицы, тогда 6 октантов будет соответствовать 0,75 долей единицы. Отсюда средняя степень ясности будет иметь величину 0,25. Как было отмечено, такая средняя степень ясности будет соответствовать продолжительности периода, при котором солнце не закрывалось облаками. С определенными допущениями и в качестве предварительной оценки такой период можно приравнять к продолжительности безоблачной погоды. В дальнейших расчетах следует ожидать процентное соотношение безоблачной погоды к общей продолжительности дня, не превышающее 25%.

Как известно, главной проблемой определения продолжительности солнечного сияния для конкретной территории является отсутствие фактических наблюдений за этой характеристикой. Актинометрическая сеть

редкая и по ее данным нельзя дать полное описание пространственной структуры распределения радиационных характеристик. По этой причине для микроклиматических исследований следует найти близкий аналог данных измерений. Предлагается оценить повторяемость безоблачных периодов погоды за летние месяцы. Для анализа использовались срочные данные АМСГ Пермь с интервалом в 1 ч. Данные выборки представлены за период с 2002 по 2006 гг. Безоблачной принималась погода, при которой нижняя граница облаков не была зафиксирована в двух точках измерений, расположенных в начале и конце взлетно-посадочной полосы аэропорта Б. Савино. При этом в выборку безоблачной погоды попадают случаи, при которых возможно наличие только облачности верхних ярусов не более двух октантов. В табл. 5 в прил. 2 представлены данные о повторяемости безоблачной погоды по данным АМСГ Пермь, выполненные автором.

Восход солнца в среднем за летний период приходится на срок 6 ч. местного времени, заход солнца отмечается приблизительно в срок 23 ч., максимальная высота солнца отмечается в 14 ч. Таким образом, по имеющимся данным можно рассчитать ориентировочную продолжительность солнечного сияния в летний период. В табл. 5 в прил. 2 цветом отмечены периоды ночного времени, вклад этих сроков не следует учитывать в общей продолжительности солнечного сияния.

Процентное соотношение безоблачной погоды к общей продолжительности дня представлено в табл. 4.1. Под световым днем понимается период времени с 6 ч. до 23 ч., полный день – сутки.

На основе этих данных можно сделать следующие заключения:

- средняя продолжительность безоблачной погоды в летний период составляет более 1700 сроков измерений за период с 2002 по 2006 гг., с максимумом в июле – более 2000 сроков измерений;
- может использоваться следующее приближение – часовой срок измерения отождествляется с часом облачной или безоблачной погоды, таким образом, в течение часа количество облачности не

увеличивается, это делается из предположения о некоторой инертности изменения структуры облачности;

- продолжительность безоблачной погоды в период светового дня составляет более 1000 сроков измерений с максимумом в июле – более 1200 сроков измерений.

Таблица 4.1

Процентное соотношение безоблачной погоды к общей продолжительности дня по данным АМСГ Пермь за период 2002-2006 гг. по 60 мин. срокам наблюдений

Период	Июнь	Июль	Август
Полный день	48	56	46
Световой день	29	33	31

В связи с тем, что полученное количество сроков измерений с соответствующим типом облачности достаточно велико, то можно заключить о присутствии в выборке значительного количества дублирующихся значений. Дублирующиеся значения скорее всего связаны с процессом записи данных приборов в информационную базу, поэтому целесообразно сделать уточнение выборки. Было проведено следующее исследование: использовались срочные данные АМСГ Пермь, но уже с интервалом в **30 минут** (рис. 4.1). Безоблачной принималась погода, при которой нижняя граница облаков не была зафиксирована на измерительных приборах, расположенных в двух концах взлетно-посадочной полосы, в сроки измерений. При этом исключались такие случаи, при которых возможно наличие только облачности верхних ярусов не более двух октантов в сочетании с облачностью других ярусов. Кроме этого, была проведена работа по исключению дублирующихся записей в базе данных.

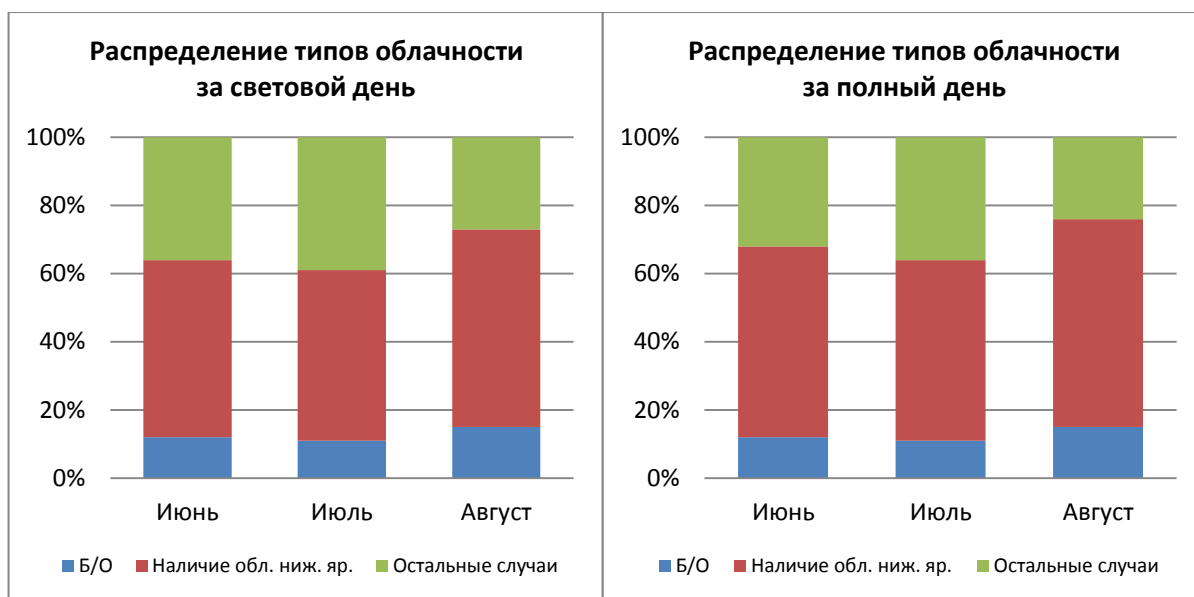


Рис. 4.1. Распределение типов облачности за полный и световой дни

На основе проведенных расчетов были сделаны следующие заключения:

- количество случаев с безоблачной погодой за полный день находится в интервале от 11 до 15%, с максимумом в августе;
- 30-минутный срок измерения отождествляется с получасом безоблачной погоды;
- уменьшение интервала измерений ведет к уменьшению количества сроков с безоблачной погодой;
- количество случаев безоблачной погоды в период светового дня также находится в интервале от 11 до 15%, с максимумом в августе.

Так как продолжительность солнечного сияния представляет собой время, в течение которого Солнце находится над горизонтом и не закрыто облаками, то, с некоторой погрешностью, расчетные данные по повторяемости безоблачной погоды за световой день можно принять за продолжительность солнечного сияния.

Следующим параметром облачности, необходимым для оценки является тип, количество и повторяемость нижней облачности. Для этого была создана выборка данных со следующими критериями:

- нижняя облачность слоисто-дождевой (Ns), слоисто-кучевой (Sc) и слоистой (St) форм;
- нижняя облачность в сочетании с высокослоистой (As), высококучевой (Ac), кучевой (Cu), перистой (Ci) и кучево-дождевой (Cb). Других сочетаний за рассматриваемый период зафиксировано не было;
- количество облачности не учитывалось в сформированной выборке.

На рис. 4.1 представлены данные, характеризующие относительную продолжительность облачности нижнего яруса за летние месяцы.

Выяснилось, что повторяемость случаев с облачностью нижнего яруса значительно превышает эту характеристику для безоблачной погоды и составляет более половины дня как светового, так и полного. Следует отметить, что выборка создана с определенными допущениями. Так, для уточнения полученных данных в дальнейшем следует вести учет таких факторов как количество облачности, а так же учет кучевой (Cu) и кучево-дождевой (Cb) облачности.

Таблица 4.2

Процентное соотношение случаев сплошной облачности нижнего яруса к общей продолжительности дня по данным АМСГ Пермь за период 2002-2006 гг. по 30 мин. срокам наблюдений

Период	Июнь	Июль	Август
Полный день	4	3	7
Световой день	4	4	8

Необходимым действием для расчетов поступающей к поверхности солнечной радиации является дальнейшее уточнение выборки, позволяющее учесть повторяемость случаев сплошной облачности нижнего яруса (табл. 4.2) по критерию «балл нижней облачности». Так в выборку попадут только случаи, при которых наблюдается сплошная облачность нижнего яруса (8 октантов).

Можно сделать следующие выводы на основе проведенных расчетов:

- количество случаев сплошной облачности нижнего яруса не превышает 5% для июня и июля, максимум повторяемости отмечается в августе 8% за световой день;
- основой вклад в повторяемость нижней облачности вносят случаи, при которых отмечается не полное покрытие небосвода;
- учет этого показателя при расчете потоков солнечной радиации позволит оценить минимальные значения притока к поверхности солнечной радиации для исследуемой территории при данных климатических условиях.

Стоит отметить, что для получения устойчивых показателей по распределению облачности необходимо увеличивать объем выборки. Текущие расчетные показатели необходимы для предварительных оценок и проверки предлагаемых методик.

Перспективным является направление исследования, при котором учет облачности происходит в реальном времени по космическим снимкам. Данный алгоритм можно реализовать путем совместного использования снимков спутников, таких как NOAA, TERRA, AQUA и др.

Для этого необходимо реализовать систему, имеющую типовую структуру региональной геоинформационной системы.

Необходимые подсистемы:

- Подсистема ввода данных. Должна включать в себя процесс получения и сбора информации с городских метеостанций, а также процесс приема информации дистанционного зондирования.
- Подсистема ассимиляции данных (data assimilation). Включение в подсистему процессов первичной обработки данных дистанционного зондирования и их сопоставление с фактической информацией с метеостанций. Данные зондирования для последующей обработки должны быть представлены в панхроматических или мультиспектральных изображениях.

- Подсистема обработки ассимилированных данных ДЗЗ. Проведение дешифровки спутниковых снимков для оценки границ облачности и распределении ее типов.
- Подсистема картографического моделирования. Использование информации по дешифровке облачности. Например, в целях расчета потоков солнечной радиации. Создание и реализация картографических моделей и построение отчетов.
- Подсистема представления данных. Для общедоступности возможна реализация интернет проектов с использованием приемов и технологий веб-картографии.

Как пример конечного продукта в области оценки солнечной радиации можно привести проект SolarGis – <http://solargis.info/>.

4.2. Оценки радиационного режима

Как было отмечено ранее, основными методами к оценке особенностей радиационного режима являются:

1. Методика ГГО [32].
2. Модель SolarFlux.
3. Расчет потоков солнечной радиации с использованием растровой алгебры (map algebra).

Оценка точности и применимости данных методик будет рассмотрена далее. Так все методы, используемые для определения возможных сумм радиации (суммарная солнечная радиация рассматривается как сумма прямой и рассеянной), могут быть представлены в порядке их возрастающей точности, рассматриваются следующие варианты возможных сумм:

- а) сумма радиации при данной широте и склонении солнца и абсолютной прозрачности атмосферы (что в отношении радиационного режима равнозначно отсутствию атмосферы);
- б) сумма радиации для идеальной атмосферы;

- с) сумма радиации при наличии реальной атмосферы со средней для данного периода и широты прозрачностью (по обобщенным возможным суммам);
- d) суммы радиации, соответствующие реальной прозрачности атмосферы для данных условий (определенные эмпирическими или теоретическими методами).

При определении возможных сумм радиации по методам «а» и «b» расчетные суммы радиации получаются с систематическими ошибками в сторону занижения (так как возможные суммы завышаются) тем большими, чем больше принимаемая при их вычислении прозрачность атмосферы отличается от действительно наблюдающейся в данный период. Эти систематические ошибки могут получаться различными по величине в зависимости от широты и склонения солнца и годового хода прозрачности атмосферы. Возможные суммы по методу «с» и «d» определяются с меньшими систематическими ошибками, но эти ошибки все же не исключаются полностью [53, 127, 129].

Так, модель SolarFlux, реализованная в ArcGIS, без дополнительной доработки будет относиться к классу «с». Существует значительное количество исследований, связанных с использованием SolarFlux [75, 76, 81-83, 86, 100], поэтому данная модель расчета не рассматривалась. Возможности поэтапного расчета солнечной радиации с учетом облачности и реального состояния атмосферы будут относиться к классу «d». Гибкость этого метода позволит без дополнительных действий выбирать нужный класс от «а» до «с» в зависимости от задач. Классифицировать методику ГГО значительно труднее, так как используются эмпирические взаимосвязи и связанные с этим используемые приближения получены в ходе наблюдений.



Рис. 4.2. Структура оценки особенностей радиационного режима

Процесс анализа и оценки особенностей радиационного режима предлагается производить в следующем порядке (рис. 4.2):

1. Построение слоя, содержащего абсолютные значения пространственного распределения поступления солнечной радиации к поверхности за летний период.
2. Расчет слоя относительных значений притока солнечной радиации за летний период. В данном случае для сравнения методов с использованием методики ГГО и с использованием растровой алгебры проводились оценочные работы и анализ налагаемых ограничений данными подходами.
3. Расчет максимальных значений поступления солнечной радиации в абсолютных и относительных значениях по сезонам с использованием центральных дат периодов.

4. Учет различных типов облачности и безоблачного состояния атмосферы.

Первым этапом расчетов в исследовании территории является получение слоев относительного притока солнечной радиации по методике ГГО. Первичный расчет абсолютных значений здесь пропускается. На этом этапе выполняется анализ полученных слоев поступающей прямой солнечной радиации, который необходим, прежде всего, для оценки влияния рельефа на термический режим территории. По эмпирическим зависимостям, полученным при разработке методических указаний ГГО, присваиваются коэффициенты изменения прямой солнечной радиации.

Таблица 4.3

Процентное соотношение прямой солнечной радиации исследуемых территорий (в % от радиации на горизонтальной поверхности)

Прямая солнечная радиация	АМСГ Пермь	МС Пермь
Меньше 80%	—	—
80-89%	—	13%
90-99%	38%	29%
100-105%	62%	17%
106-110%	—	41%
Среднее количество прямой радиации	96,9%	98,0%

Анализ показывает, что в целом вариации прямой солнечной радиации для исследуемых территорий не существенны (табл. 4.3). Так, для территории аэропорта Б. Савино, находящейся преимущественно на ровной поверхности, средняя доля прямой радиации составила 96,9% (в процентах от радиации на ровном месте). Для территории МС Пермь, расположенной в условиях пересеченной местности, аналогичная величина составила 98%.

Следовательно, только статистические данные по всей исследуемой зоне позволяют выявить существенно ли влияние наблюдаемых различий в орографии для какого-либо расчетного элемента. Подобные расчеты больше всего необходимы для территорий подобных микрорайону «Архирейка». Таким образом, выявленную разницу в поступающей прямой радиации в 1,1% можно не учитывать в качестве главных факторов влияющих на термический режим. Следует предположить, что основное влияние на термический режим обусловлено изменением характера и свойств подстилающей поверхности.

Предлагается альтернативный подход, в основе которого используются инструменты ArcGIS для проведения вычисления. Теоретические основы реализации такого подхода в геоинформационной среде изложены во 2 главе и в работе [60].

Для операций растровой алгебры использовались следующие поверхности (расчеты по формуле 2.4.):

- рассчитанный слой уклона,
- переклассификация слоя экспозиции,
- прямая радиация на перпендикулярную к лучам поверхность.

Таким образом, полученные поверхности представляют собой:

- S – прямая радиация на перпендикулярную к лучам поверхность
- $\text{Cos}([\text{Рассчитанный слой уклона}])$ – аналог множителя $\cos \alpha$,
- $\text{Sin}([\text{Рассчитанный слой уклона}])$ – аналог множителя $\sin \alpha$;
- $\text{Cos}([\text{Переклассификация слоя экспозиции}])$ – аналог $\cos \Psi$.

Суть переклассификации заключается в присвоении постоянных центральных значений румбовым системам, которые, в соответствии с теоретическими положениями, отсчитываются от плоскости меридиана, причем азимуты считаются положительными при отсчете от точки юга в направлении часовой стрелки. При значении азимута Солнца отличном от 180° , Ψ представляет собой разность азимута Солнца и проекции нормали к

склону на горизонтальную плоскость, с учетом вышеописанной системы отсчета.

В соответствии с этим целесообразно сравнить карты, построенные с использованием инструмента растровой алгебры, с картами, полученными с использованием методики ГГО. Сравнение будет показано на примере карт среднесуточных сумм прямой радиации для июля на территории микрорайона «Архирейка».

Построение карт по методике ГГО выполнялись с применением коэффициентов для июля (рис. 4.3А). Для расчетного метода были использованы азимута и высоты солнца с интервалом в 1 час с 7 до 22 чч. (рис. 4.3Б). Построение слоя относительных значений среднесуточных сумм прямой радиации с использованием растровой алгебры происходит по данным предварительных расчетов абсолютных значений притока солнечной радиации.

На рис. 4.4 сравниваются результаты картирования относительного притока прямой солнечной радиации, выполненные в соответствии с различными подходами. Так стоит отметить, что среднее количество притока практически идентично – разница 1%. Пространственное же распределение имеет определенные различия. Для методики ГГО характерно большее количество территории как с максимальными значениями из градаций, так и с минимальными. Для расчетного метода в ArcGIS характерно преобладание значений около определенного среднего значения.

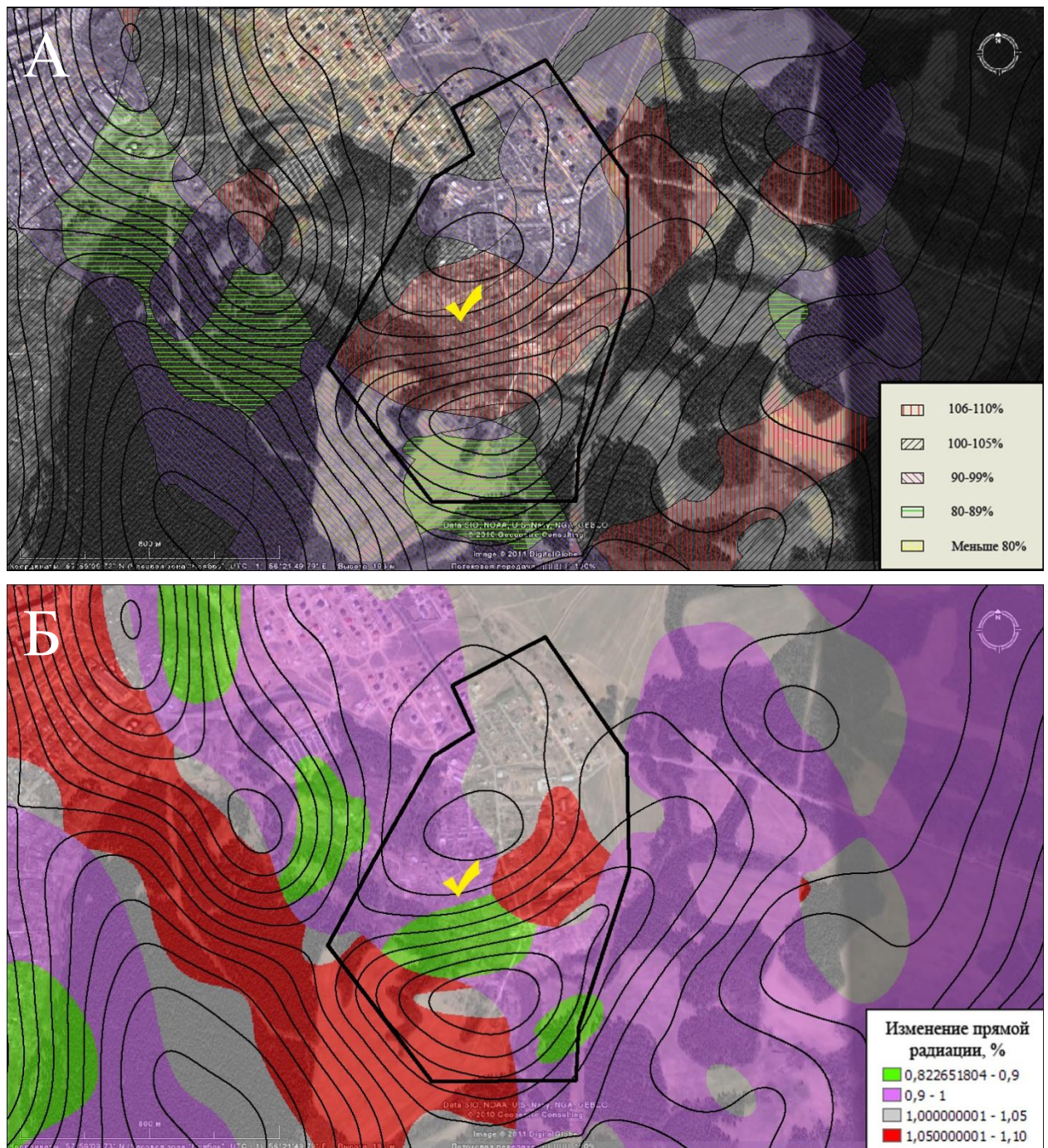


Рис. 4.3. Изменения прямой солнечной радиации (в процентах от радиации на ровном месте) для МС Пермь

А) построено в соответствии с указаниями методики ГГО им. А.И. Воейкова,

Б) построено с использованием растровой алгебры ArcGIS

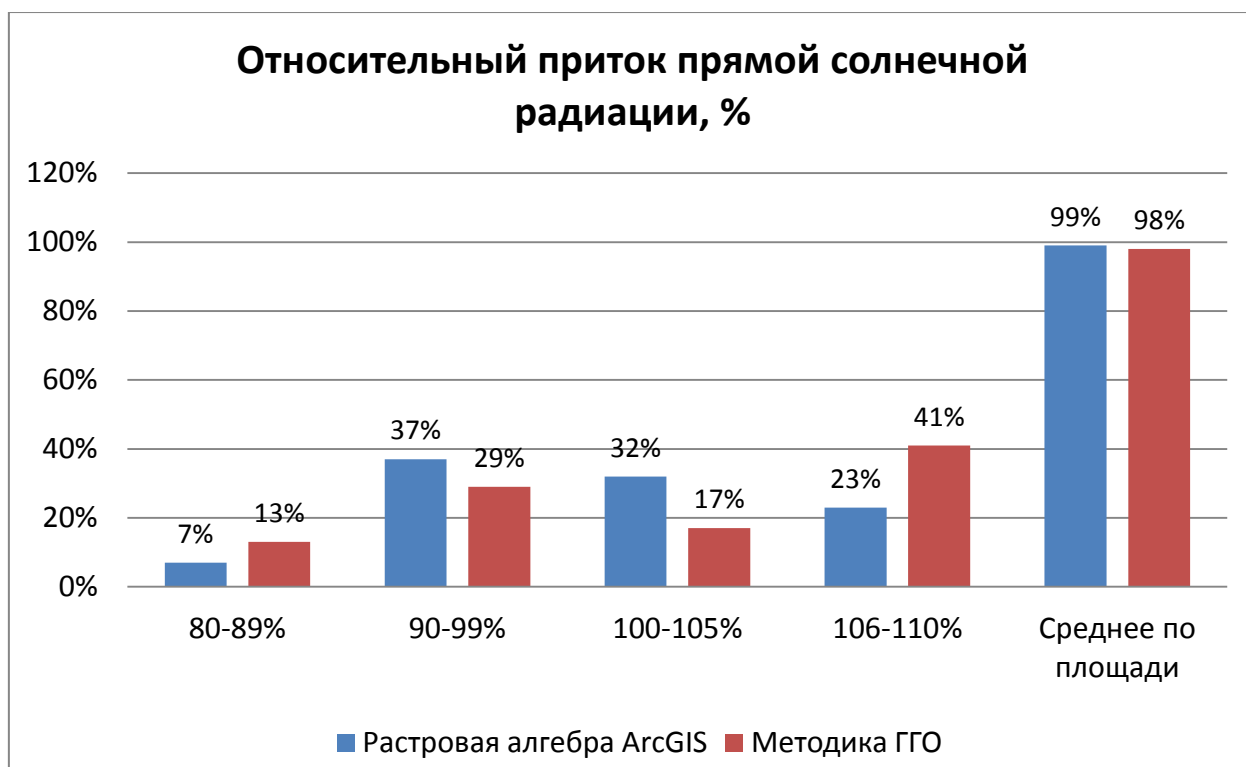


Рис. 4.4. Пространственная статистика относительного притока прямой солнечной радиации (процентное соотношение) для микрорайона «Архирейка»

Причины различий в пространственных данных между расчетами, выполненными с применением разных подходов, обусловлены следующими факторами:

1. Карта экспозиций, построение которой предлагается в методике ГГО, строится для четырех главных стран света. Таким образом, участки склонов относятся к одной из четырех экспозиций. Наибольшая пространственная ошибка происходит именно из-за этого приближения.
2. Дневная сумма радиации на восточном и западном склонах в методике ГГО принимается в первом приближении равной величине ее на ровном месте. Данное приближение устраняет различие между притоком прямой солнечной радиации на восточный и западный склоны. Величина погрешности будет увеличиваться по мере увеличения уклонов восточных и западных

склонов. Погрешность может иметь значительные пространственные масштабы.

3. В методике ГГО отношения средних суточных сумм радиации на северном и южном склонах к суммам на ровном месте зависит от широты. Данные приведены для уклонов 5 и 10°. Величины для промежуточных уклонов определяются интерполяцией. Процедура интерполяции коэффициентов является трудоемким процессом для непрерывных полей уклонов местности. В связи с этим приходится вводить определенные дискретные значения уклонов, сопровождающиеся потерей пространственной информации, и величина погрешности будет зависеть от интервала определения углов на карте местности.
4. В методике ГГО участки, имеющие крутизну менее 2°, относятся к ровным местам. Это приближение аналогично по своей сути с предыдущим. За счет этого также теряется часть пространственной информации.

Далее, чтобы оценить возможности данного метода, с использованием инструмента растровой алгебры ГИС также для микрорайона «Архирейка» были рассчитаны максимально возможные значений потоков прямой солнечной радиации, без учета поглощения радиации парниковыми газами. Расчеты проводились для четырех центральных дат периодов: 21 июня, 21 декабря, 20 марта и 22 сентября в астрономический полдень (рис. 4.5).

Из рис. 4.5 видно, что наибольшие различия в относительном притоке наблюдаются в зимний период. Так примерно 10% территории получает солнечной радиации в 2 раза больше в сравнении с ровной поверхностью. Отмечаются участки, занимающие площадь более 15% территории либо практически не получающие солнечную радиацию, либо без освещения. В связи с таким распределением притока среднее количество прямой радиации на 11% больше, чем для ровного участка местности (табл. 4 в прил. 1). Таким образом, именно в этот период влияния рельефа на относительный приток

прямой солнечной радиации должно проявляться в максимальной степени. Однако, продолжительность освещенности небольшая.



Рис. 4.5. Пространственная статистика относительного притока прямой солнечной радиации в процентном отношении

Расчеты также показывают, что в середине лета разность в притоке тепла на склоны и ровное место невелика (рис. 4.6). Пространственные различия в относительном притоке минимальны, относительный коэффициент находится в пределах (0,85; 1,2).

Ранней весной и поздней осенью, по мере уменьшения высоты солнца, минимальные значения которой отмечаются в зимний период, увеличивается и разность притока тепла.

Следующий этап расчетов базируется на положениях, приведенных в главе 2, который основан на операциях с растровыми слоями в соответствии с формулами (2.5.) – (2.8.) с использованием инструмента растровой алгебры.

Исходными параметрами при расчетах являются широта местности и временной период. Последний может быть выбран любой: как широкий сезонный диапазон, в котором могут быть использованы интегральные характеристики продолжительности солнечного сияния на всем временном промежутке расчета, так и точечные расчеты для конкретного дня и астрономического времени суток.

В соответствии с поставленной задачей этапа вычисления максимальных значений притока солнечной радиации проводились для безоблачной атмосферы для четырех дат (20 марта / 22 сентября, 21 июня, 21 декабря).

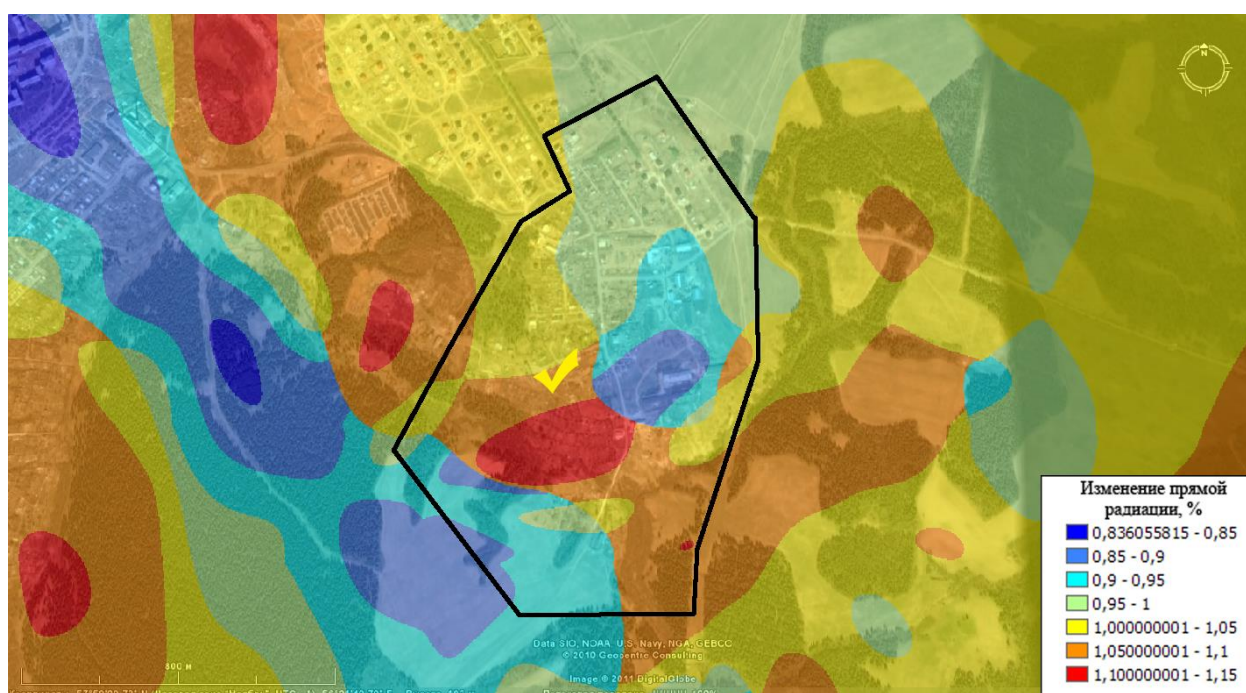


Рис. 4.6. Изменение прямой солнечной радиации в процентах от радиации на ровном месте (астрономический полдень, 21 июня)

Оперирование выражениями растровой алгебры можно производить как непосредственно без построения дополнительных слоев карт, так и со всеми промежуточными расчетами для большей наглядности и контроля результата.

Необходимый слой R1 (безоблачное состояние) является базовым и представляет собой константу – значение солнечной постоянной с учетом широты местности. Таким образом, перемножение геоинформационных

слоев с данными рельефа и слоя R1 покажет максимально возможные значения притока солнечной радиации для данного типа местности, то есть с учетом орографии.

Было использовано следующее приближение:

- Функция пропускания для инфракрасной части солнечной радиации, учитывающая поглощение радиации водяным паром и углекислым газом, была принята равной 1, т.е. при отсутствии поглощения в атмосфере данными веществами. Такое приближение позволяет оценить максимальные значения потоков радиации для данной широты и времени вне зависимости от локальных характеристик атмосферы. Введение реальных значений этой функции приведет к уменьшению значений потоков радиации.

В настоящее время активно проводятся исследования в области использования солнечной радиации для энергетики. С повышением эффективности методов преобразования солнечной радиации проблема оценки энергopotенциала становится все более актуальной. Так, уже разработан ряд кадастров по осредненным характеристикам притока солнечной радиации. Изменчивость этих характеристик во времени освещается менее детально. Стоит отметить работы по детальной оценке пространственной изменчивости ресурсов солнечной радиации на территории Удмуртии [37, 42], изучение гелиоэнергетических ресурсов Поволжья [40, 42, 43]. Построение подобных мезоклиматических карт имеют большую значимость. Для оценки микроклиматических особенностей их можно использовать как для контроля, так и для определения граничных условий в расчетах.

Анализируя полученные данные (табл. 4.4) с позиций энергopotенциала территории, целесообразно воспользоваться критериям Б.П. Вейнберга, которые используются в области гелиоэнергетического кадастра [44]. Так солнечная радиация может считаться «технически приемлемой», а энергopotенциал территории достаточным, с того момента, когда ее

интенсивность (S) достигает 0,42 кВт/м². Превышение этого ориентира будет свидетельствовать об определенной энергетической обеспеченности данных типов рельефа территории. Выделение таких зон с наложением поправок на необходимый уклон местности будет являться подготовкой к дальнейшим техническим изысканиям. Стоит отметить о принципиальной необходимости проведения дальнейших оценочных мероприятий, с учетом функции поглощения и облачных характеристик.

Таблица 4.4

Пространственная статистика притока прямой солнечной радиации
(абсолютные значения, кВт/м²)

Поступление радиации (кВт/м ²)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21 %
0,0-0,1			22,65 %
0,1-0,2			27,57 %
0,2-0,3			16,11 %
0,3-0,4			18,13 %
0,4-0,5			11,28 %
0,5-0,6	19,93 %		0,05 %
0,6-0,7	27,68 %		
0,7-0,8	21,11 %		
0,8-0,9	22,30 %		
0,9-1,0	8,97 %	5,56 %	
1,0-1,1		38,72 %	
1,1-1,2		35,57 %	
1,2-1,3		20,16 %	
Среднее количество прямой радиации (кВт/м ²)	0,72 кВт/м ²	1,12 кВт/м ²	0,21 кВт/м ²

Так, из табл. 4.4 видно, что среднее значение притока солнечной радиации для зимы ниже необходимых минимумов использования. Осенне-зимние показатели свидетельствуют о превышении обозначенного аналитического критерия на 71%. Таким образом, энергетическая обеспеченность в данный период достаточная с учетом безоблачного неба. Летом отмечается превышение на 166%; для данного района такая обеспеченность максимальна.

Как было показано в [17] – осреднение пространственного распределения притока солнечной радиации приводит к потере микроклиматической информации. Следовательно, средние характеристики количества прямой солнечной радиации (кВт/м^2) справедливы только для относительно однородных участков территории. Таким образом, для исследуемого района осредненные характеристики не показательны. Так для зимнего периода, исходя из среднего показателя энергетическая обеспеченность недостаточна, но пространственные данные показывают, что возможно выделение участков с обеспеченностью до $0,6 \text{ кВт/м}^2$. Суммарный процент территории для зимнего периода с достаточной обеспеченностью составляет 11,33% от площади района. Весной максимум приходится на диапазон $0,6\text{-}0,7 \text{ кВт/м}^2$. Летний же максимум отмечается в пределах $1,0 \text{ кВт/м}^2$. Примечательно, что в летний период 94,44% территории получает солнечной радиации больше $1,0 \text{ кВт/м}^2$.

Далее был проведен расчет с учетом формы облаков, путем перемножения геоинформационных слоев с коэффициентами поглощения солнечной радиации облачностью и слоя, содержащего информацию предыдущего расчета. Облачный покров в расчетах принимался как сплошной.

Из табл. 5 и 6 в прил. 1 можно видеть, что облака верхнего и среднего ярусов пропускают к земной поверхности некоторую часть радиации. Причем верхний ярус практически полностью пропускает радиацию (кроме зимнего периода) начиная с порога в $0,4 \text{ кВт/м}^2$. Средний ярус в значительно

большей степени поглощает радиационный поток, только в летний период 28% прошедшей сквозь облако радиации превышает порог $0,4 \text{ кВт/м}^2$.

Облачность нижнего яруса (табл. 4.5) оказывает наиболее существенное воздействие на радиационный режим. Облака этого типа, закрывающие солнечный диск, почти полностью не пропускают прямую солнечную радиацию и она принимает минимальные значения.

Таблица 4.5

Пространственная статистика нисходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако в подоблачном слое при наличии сплошной облачности нижних ярусов (S_c , S_t) (абсолютные значения, кВт/м^2)

Поступление радиации (кВт/м^2)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21
0-0,05			57,24
0,05-0,10			38,50
0,10-0,15	56,77		0,05
0,15-0,20	43,23	5,56	
0,20-0,25		90,95	
0,25-0,30		3,49	
Среднее количество прямой радиации (кВт/м^2)	0,15 кВт/м^2	0,22 кВт/м^2	0,04 кВт/м^2

Из табл. 7 в прил. 1 видно, что покрытие солнечного диска облаками кучево-дождевой и слоисто-дождевой облачности полностью прекращает приток прямой солнечной радиации, что обусловлено максимальной плотностью данных типов облачности.

Учет облачности можно реализовать по следующей схеме:

- Расчет характеристик облачности по часовым срокам наблюдений.
- Определение расчетного периода, для которого будет происходить осреднение астрономических факторов, влияющих на распределение облачности.

- Выбирая необходимый расчетный период, следует учитывать трудоемкость расчетов. Подбор осуществлять следует из поставленных целей. Предположительно, подекадный или 15-дневный период расчета даст оптимальный результат в соотношении «скорость реализации – точность получаемых данных»
- Распределение облачности следует группировать, основываясь на принципах, показанных в расчетах (учитывать ярус).
- В зависимости от балла облачности, типа преобладающей облачности и сопутствующих типов облаков следует производить расчеты (умножение растровых слоев на коэффициенты) и суммирование полученных результатов.

Такая информация позволит выявить оптимальные участки с максимальной энергетической обеспеченностью. Совмещение данных слоев карт со слоем уклонов выявит оптимальные проектные территории, как для последующей застройки, так и других технических изысканий.

Основные выводы

1. Предложен способ косвенного определения продолжительности солнечного сияния по данным срочных измерений с периодичностью 30 и 60 минут. Наиболее применимы измерения, проводимые каждые 30 минут.
2. Повторяемость случаев с безоблачной погодой за летние месяцы находится в интервале от 11 до 15%, с максимумом в августе.
3. Повторяемость случаев с облачностью нижнего яруса более 50%.
4. Повторяемость сплошной облачности нижнего яруса не превышает 10%.
5. Предложена структура подсистемы учета облачности в реальном времени по спутниковым космическим снимкам региональной геоинформационной системы.

6. Выполнено сравнение метода с использованием ГИС технологий и метода ГГО им. А.И. Воейкова, реализованного также в геоинформационной среде. Оценка показала близкие результаты в расчетах с небольшими отличиями.
7. Рассмотрен поэтапный процесс анализа радиационного режима, позволивший создать прикладные геоинформационные слои и получить оценочные значения поступающей солнечной радиации в кВт/м² как с учетом облачности, так и для безоблачной погоды.
8. Получены относительные значения притока солнечной радиации в процентах от радиации на ровном месте для оценки теплового эффекта.
9. Определены основные принципы и рекомендации, на основе которых можно реализовать детальный учет облачности.

5. ЛОКАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛОВОГО И ВЕТРОВОГО РЕЖИМОВ ТЕРРИТОРИИ

5.1. Характеристика термического режима метеостанций

Температура воздуха является одним из главных показателей, влияющих на комфортность погодных условий для человека, и потому одним из главных показателей в оценке микроклимата. Исследование температуры является первым шагом на пути выявления городского острова тепла. Изучение временной вариации средних температур должно лежать в основе методов геоэкологического контроля.

Важно также оценить роль синоптических условий на распределение средних температур. Рассмотренный пример будет основан на коротком ряде измерений, чаще используемом в микроклиматических оценках.

Основные этапы исследования включают:

- анализ средней температуры с использованием данных наблюдений АМСГ Пермь и МС Пермь за 2001-2008 гг. с периодом осреднения в год, сезон, месяц;
- анализ средней температуры с учетом синоптической ситуации за период 2001-2008 гг. Сравнение выборок приводилось с учетом и без учета синоптической ситуации с дискретностью в месяц.

Для МС Пермь данные по температуре были представлены по 8 срокам наблюдений. Для АМСГ Пермь измерения проводятся через каждые 30 мин, поэтому была проведена выборка значений температуры по основным срокам наблюдений.

Оценивая среднегодовую температуру (табл. 5.1) можно видеть, что ее значение на АМСГ Пермь превышает соответствующее значение для МС Пермь. Это свидетельствует о том, что влияние города и особенностей микроклимата при подобном осреднении нивелируется. Для выявления

зависимости между двумя станциями была вычислена разность температуры (ΔT) между МС Пермь и АМСГ Пермь (рис. 5.1).

Таблица 5.1

Среднегодовая температура

	МС Пермь	АМСГ Пермь	ΔT
Среднегодовая температура	3,2	3,3	-0,1

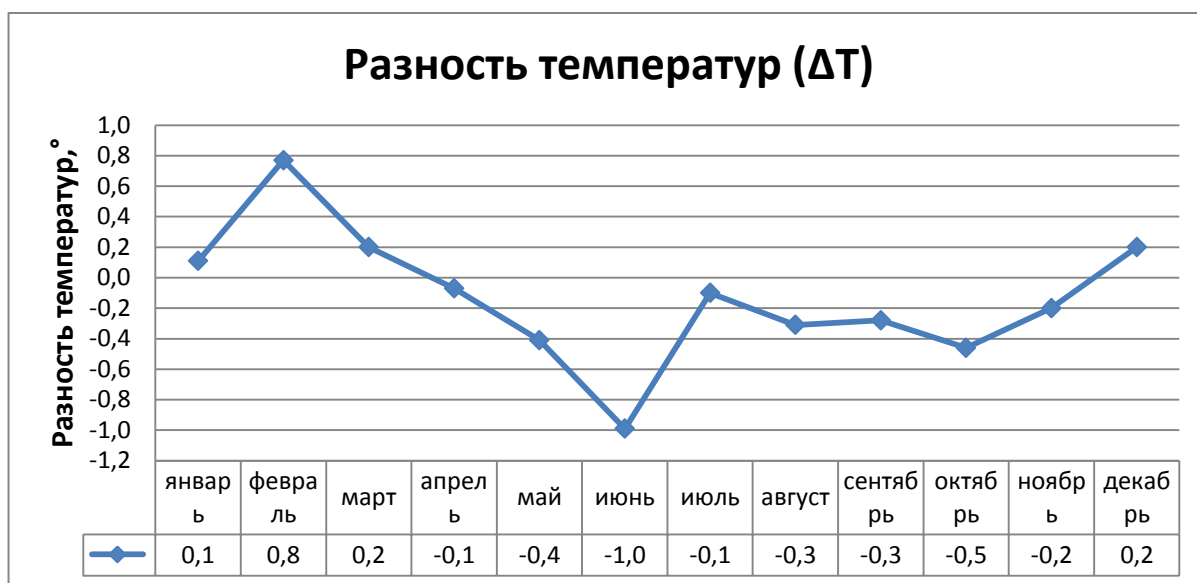
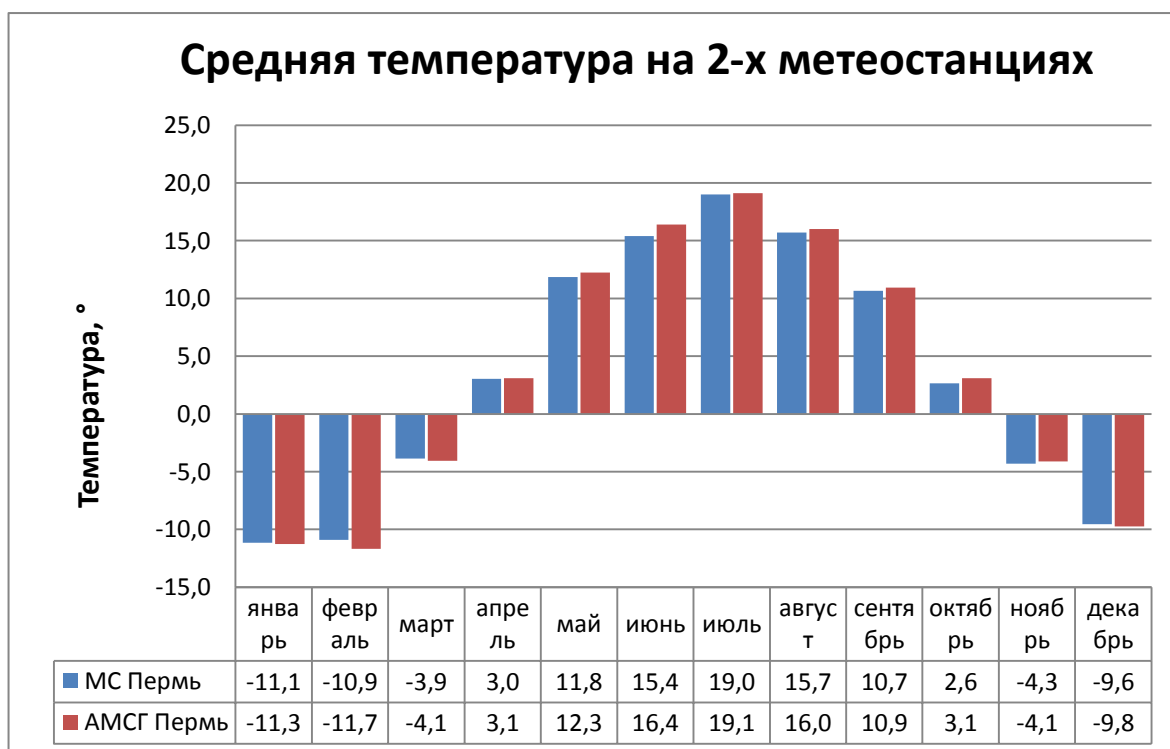
Рис. 5.1. Годовой ход разности температур (ΔT) 2-х метеостанций

Рис. 5.2. Годовой ход средней температуры 2-х метеостанций

Из рис. 5.1-5.2 видны следующие закономерности:

- средняя температура в зимний период на МС Пермь выше, чем для АМСГ Пермь;
- в летний период значение средней температуры на МС Пермь ниже, чем на АМСГ Пермь;
- максимальная разность значений температур не превышает 1° ;
- продолжительность периода с положительной разностью температур короче – декабрь-март.

Из рис. 5.2 хорошо видно, что значения температуры на МС Пермь в зимний период, а именно с декабря по март, превышают значения температуры на АМСГ Пермь (разность положительна). Максимум разности приходится на февраль ($0,8^{\circ}$). С апреля по ноябрь значения температуры на АМСГ Пермь оказывается выше (разность отрицательна). Минимум разности приходится на июль ($-1,0^{\circ}$).

Такая особенность температурного режима непосредственно связана с изменением характера и свойств подстилающей поверхности. Антропогенные изменения местности перераспределяют величину альбедо естественной поверхности, значительно занижая ее. Так, заасфальтированные поверхности поглощают значительно больше солнечной радиации, чем растительность особенно в летний период. Кроме того, заасфальтированные поверхности и стены зданий аэропорта в светлое время суток запасают значительное количество тепла, а ночью отдают его окружающему воздуху. Таким образом, приток тепла к искусственным поверхностям днем и отток тепла от них ночью, обеспечивает повышенные значения температуры аэропорта. К тому же растительность расходует часть поступающей энергии на испарение росы, гуттацию растений (процесс выведения воды в виде капель жидкости на поверхности растения). Все это обуславливает более высокие температуры на АМСГ Пермь летом по сравнению с МС Пермь.

В зимний период установление снежного покрова сказывается и на наблюдениях АМСГ Пермь – отмечаемые значения температуры ниже, чем на МС Пермь.

Таким образом, исходя из отмеченных особенностей годового хода температуры, следует дополнить его анализом разности температур по сезонам (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Среднемесячная температура (весенний период)

Период	МС Пермь	АМСГ Пермь	ΔT
весна	3,7	3,8	-0,1
лето	16,7	17,2	-0,5
осень	3,0	3,3	-0,3
зима	-10,5	-10,9	0,4

Весенний период является переходным периодом со сменой знака разности. С апреля происходит постепенный рост разности, это объясняется тем, что в это время происходит сход снежного покрова и постепенное озеленение территорий. В летний период наблюдается значительное превышение температуры АМСГ Пермь над МС Пермь. В этот период поступление солнечной радиации максимально. В осенний период разность температур отрицательна, сказывается уменьшение влияния альбедо растительности и ее роли в уменьшении температуры на метеостанциях. В зимний период разность температур положительна. Максимум разности отмечается в феврале. Установление снежного покрова является главным фактором, обеспечивающим разность температур.

Точка зрения о значительном влиянии выбросов промышленности, в ходе проведенных исследований не находит подтверждения. Так, зимой влияние острова тепла должно больше. В то же время существенно влияние особенностей рельефа на МС Пермь, изменений его подстилающей поверхности. Такие особенности четко прослеживаются в летний период при

отсутствии снежного покрова и обуславливают некоторое уменьшение температуры на МС Пермь. Подобную взаимосвязь так же устанавливал [70].

Изучение влияния синоптической ситуации в микроклиматических исследованиях на распределение годового хода среднемесячной температуры будет рассмотрено далее. Для анализа использовались выборки по синоптическим бюллетеням за период 2006-2008гг. Микроклиматические особенности наиболее ярко проявляются при антициклональном режиме погоды. Это было впервые отмечено в [109] и было подтверждено в работах [119, 125]. Поэтому была сформирована выборка дат, в которые наблюдалась центральная часть длительно разрушающегося малоподвижного антициклона (далее антициклональное поле давления).

После проведения анализа полученных данных с учетом синоптической ситуации, выводы о распределении разности температур изменились. Как видно из табл. 8 в прил. 1 максимальная положительная разность значений температуры отмечается в январе ($0,5^{\circ}$), максимальная отрицательная – в октябре ($-0,5^{\circ}$).

Анализируя табл. 8 и табл. 9 в прил. 1 видно, что разности температур в каждый из месяцев имеет приблизительно равные величины, а среднее значение разности температуры за год составило $-0,1^{\circ}$.

Анализ температуры с учетом синоптической ситуации подтверждает ранее полученные выводы. Для решения микроклиматических задач точность подобного анализа недостаточна, кроме случаев приблизительной оценки, либо при подготовке первичной выборки для последующей ее корректировки. Это следует из того, что синоптическая ситуация создает только общий погодный фон, поэтому корректировку следует проводить с учетом скорости ветра, количества облачности, а также ее яруса.

Также следует оценить динамику изменений температуры для рассматриваемых территорий. На рис. 5.3 представлена информация о среднегодовой температуре, полученной по рядам температуры с 2001 по 2008 гг. на МС Пермь и на АМСГ Пермь.

Из графика (рис. 5.3) видно, что наблюдается тренд на повышение среднегодовых температур. Обращаясь к данным по изменениям в структуре землепользования, стоит вспомнить, что в период с 2000 по 2013 гг. для южной части Мотовилихинского района происходило активное изменение подстилающей поверхности. Так повышение среднегодовых температур происходит на более чем 2° (рассчитанная разность температур на границах периода 2001-2008 гг.). Увеличение доли поверхностей с низким альбедо (градация 11-15%) более чем на 5% возможно сказывается на температурном режиме. Поэтому следует предположить наличие связи между изменениями в распределении альбедо территории и повышением среднегодовой температуры.

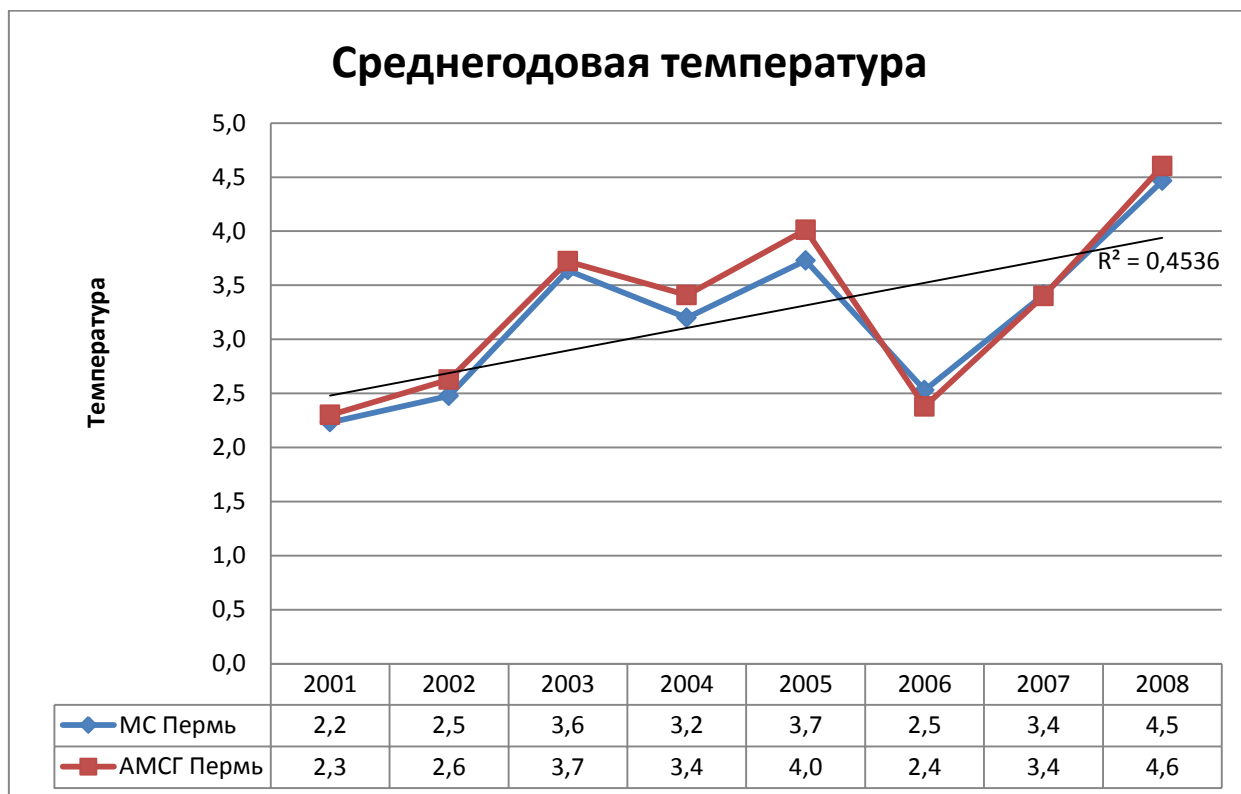


Рис. 5.3. Распределение среднегодовой температуры по годам

В целях выявления возможной связи между температурным режимом и характером подстилающей поверхности, следует проанализировать среднемесячную температуру для летнего периода (рис. 5.4), так как исследование изменений структуры подстилающей поверхности проводилось на основе дешифровки снимков летних месяцев.

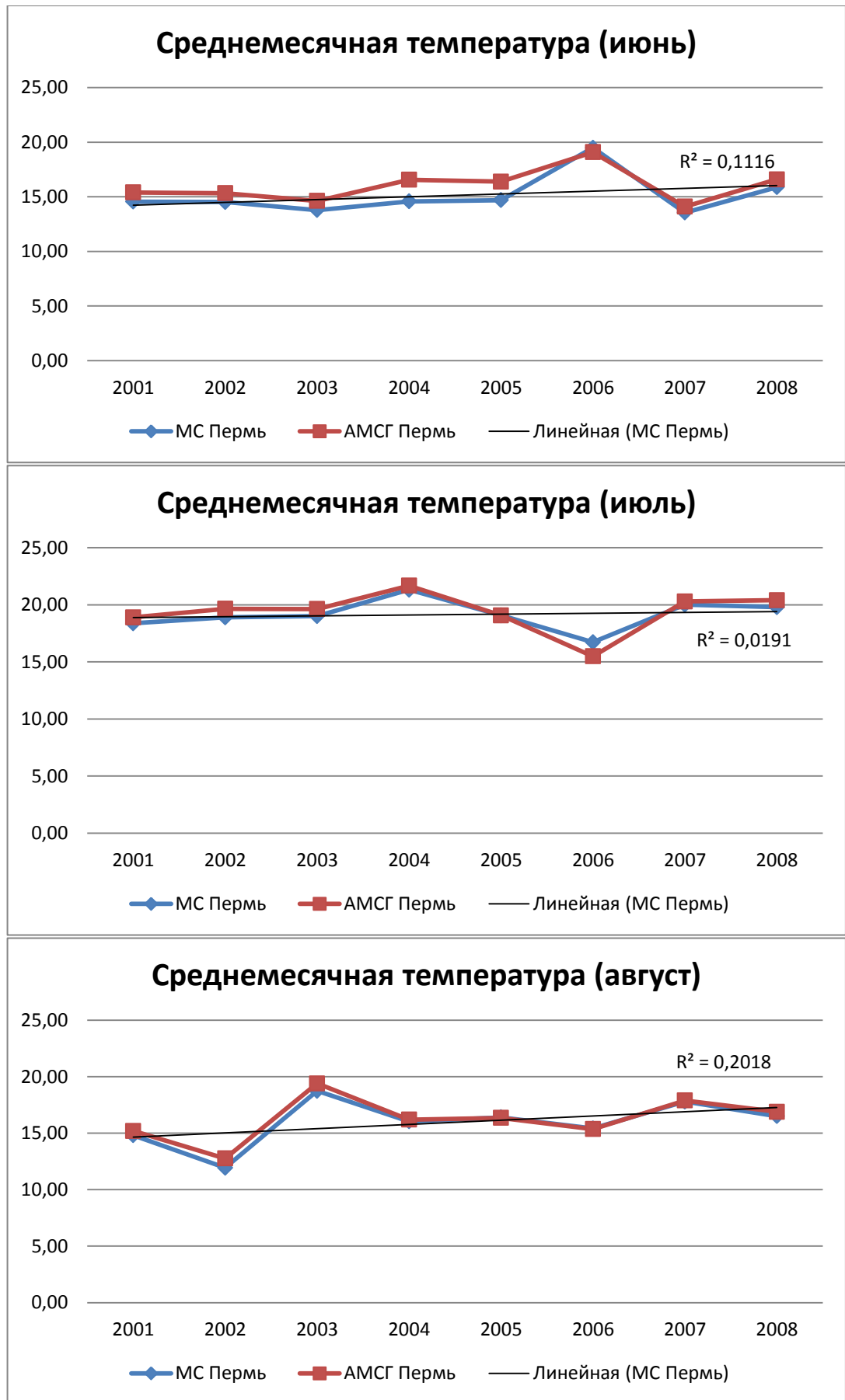


Рис. 5.4. Распределение среднемесячной температуры для летнего периода

Из рис. 5.4 видно, что, как и в случае со среднегодовой температурой, наблюдается тренд на ее повышение, но для летних месяцев периода 2001-2008 гг. это повышение менее заметно: на $1,3^{\circ}$ в июне, на $1,4^{\circ}$ в июле, на $1,7^{\circ}$ в августе.

Таким образом, сделанное предположение о возможной связи температурного режима с изменениями в структуре подстилающей поверхности так же справедливо и для летних месяцев.

Исследования в данной области с применением космических снимков и ГИС-технологий проводились, например, в работах [91]. В процессе исследования было установлено существование средней корреляционной связи между температурой поверхности и альбедо.

Выявление подобной связи может быть темой отдельного исследования.

5.2. Характеристика ветрового режима метеостанций

Одним из первых действий, необходимых для определения параметров ветровых ресурсов – это обзорная оценка их особенностей. Такой обзор должен позволить определить области высоких и низких скоростей ветра. После этого можно дать количественную оценку ресурсу, что позволит сравнить влияние особенностей городского и естественного рельефа на распределение скоростей ветра, а так же насколько использование энергия ветра является экономически целесообразным на данной территории.

Предлагаемая последовательность анализа ветрового режима включает следующие этапы:

- анализ средней скорости и направления ветра с периодом осреднения в год и месяц;
- проведение микромасштабной параметризации с использованием геоинформационных слоев с поправками на изменение ветрового потока в зависимости от ландшафта.

В рамках параметризации была проведена верификация фактических данных метеостанций с расчетными значениями.

Для анализа ветрового режима были использованы данные срочных наблюдений по скорости и направлению ветра за период с 2002 по 2008 гг. При этом информация МС Пермь была представлена по 8 срокам и для этих же сроков была сформирована выборка по данным АМСГ Пермь.

Основное требование ко всем микроклиматическим изысканиям – полная сравнимость результатов наблюдений, которые должны проводиться строго синхронно однотипными приборами. Исходя из этого утверждения, необходимо сравнить приборы, с помощью которых проводятся наблюдения.

Наблюдения за параметрами ветра на АМСГ Пермь производятся с помощью WAA151 и WAV151 с передатчиком ветра WT501, установленных на высоте 10 м в районе зон приземления воздушных судов обоих посадочных курсов.

На МС Пермь наблюдения проводятся с помощью датчика М-63.

При анализе были введены следующие обозначения:

- Δdd – разность средних значений направления;
- Δff – разность средних значений скорости.

В табл. 10 прил. 1 представлены среднемесячные значения направления ветра за период с 2002 г. по 2008 г. Из этой табл. 10 видно, что наибольшие отличия в направлениях ветра на 2-х метеостанциях отмечаются в период с мая по август, максимум приходится на июль. Это связано с малыми скоростями ветра летом. Минимальные же отличия отмечаются в холодный период года – с декабря по март с минимумом в марте.

Примечателен тот факт, что среднее значение направления ветра формируется преимущественно за счет пиковых минимальных и максимальных значений. Из этого следует вывод, что среднегодовое значение направления ветра не показательно. Различия среднемесячных значений направления ветра зависят от преобладающей синоптической ситуации. Так, при малых скоростях ветра (табл. 11 в прил. 1) его

направлению свойственна значительная вариативность. Это четко прослеживается в сравнении показаний 2-х метеостанций. С другой стороны, при увеличении скорости ветра направление воздушного потока принимает более постоянные значения и меньше изменяется по территории.

В табл. 12 прил. 1 представлены среднегодовые значения направления ветра за рассматриваемый период, которые определялись на основании рассчитанных среднемесячных значений. Из таблицы видно, что в определенные годы (2002 г., 2006 г.) различия в показаниях между станциями достигали 25° , что, в свою очередь, при использовании 16 румбовой шкалы, превышает значение одного румба. Минимальные отличия отмечались в 2005 г., в этот же год и скорость ветра (табл. 13 в прил. 1) также принимала наименьшее значение за рассматриваемый период.

Стоит заметить, что при подобном осреднении за каждый год в отдельности, какие-либо характерные особенности нивелируются за счет летних и зимних экстремумов. Таким образом, при проведении микроклиматических исследований нецелесообразно использовать среднегодовые параметры ветра для последующего анализа. Подобный подход больше применим при выявлении неких трендов показателей или при значительном изменении исследуемых территорий.

Следующий этап анализа – проведение параметризации. Как было отмечено в п. 2.6 для проведения микромасштабной параметризации необходимо использовать созданную ЦМР территории и полученные на основе интерполяционных расчетов слои экспозиций и уклона местности. В результате будут получены геоинформационные слои с поправочными коэффициентами на естественный ландшафт, характеризующие искажение ветрового потока (рис. 5.5).

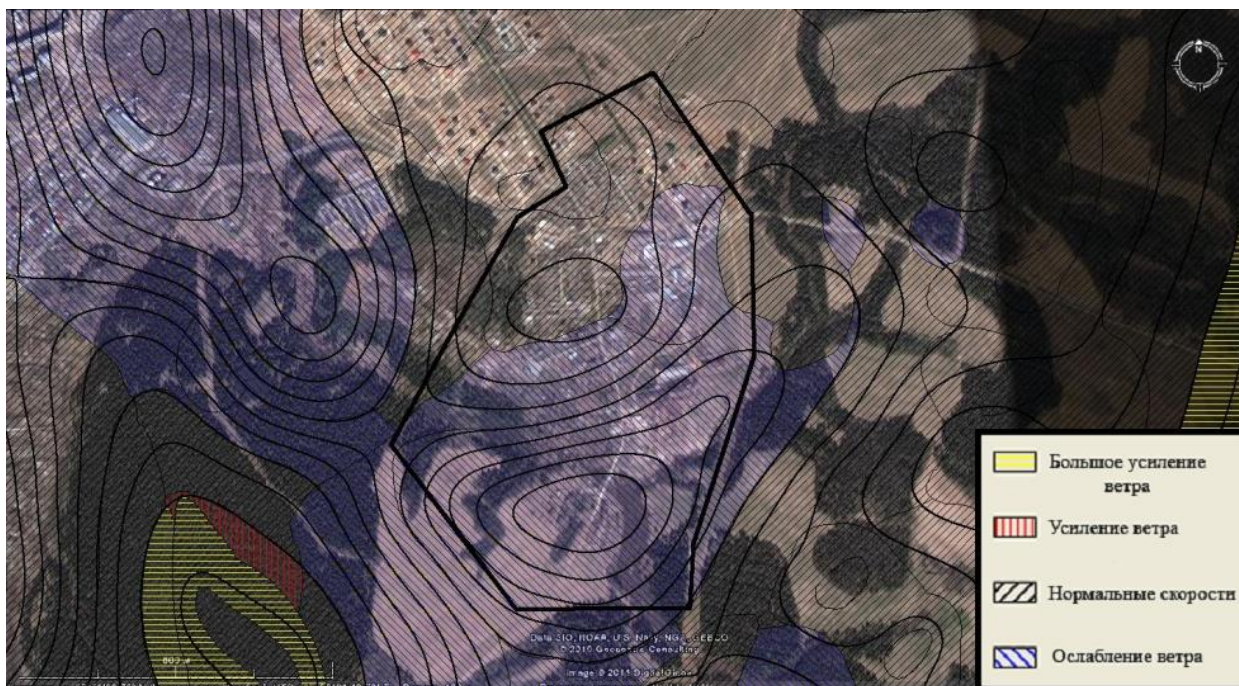


Рис. 5.5. Пример геоинформационного слоя изменение ветрового потока на территории микрорайона «Архирейка»

Использование геоинформационных слоев с коэффициентами изменчивости скорости ветра при различных направлениях ветрового потока позволяет оценить соответствие значений среднемесячной и среднегодовой скорости ветра на МС Пермь и АМСГ Пермь.

При решении задачи по интеграции микроклиматической параметризации в мезомасштабные модели метеостанции можно отождествлять с узлами сетки с данными измерений. Далее на основе полученных геоинформационных слоев возможен расчет недостающих узлов сетки.

Для выполнения такой параметризации необходимо проверить следующую гипотезу: при приведении скорости ветра с использованием коэффициентов данные метеостанции, находящейся в сложных рельефных условиях (МС Пермь) должны иметь практически равные значения с метеостанцией, находящейся на ровной поверхности (АМСГ Пермь).

Верификация карт проводилась путем сравнения фактических показаний метеостанций. За эталон для сравнения приняты карты и показания АМСГ

Пермь, имеющий поправочный коэффициент, равный 1 ($K=1,0$). После этого осуществлялся расчет скорости ветра в других условиях рельефа, в данном случае на МС Пермь с использованием соответствующего расчетного коэффициента. Так, с конечных геоинформационных слоев снимались значения коэффициентов изменчивости ветрового потока для 2-х метеостанций. На территории АМСГ Пермь датчики ветра находятся на ровной поверхности с уклоном менее 1° и, как было отмечено, $K=1,0$. На территории МС Пермь датчик ветра находится на южном склоне замкнутой ложбины с уклоном менее 7° , следовательно, $K=0,6$. Используя данные о скорости ветра АМСГ Пермь и коэффициент для МС Пермь, были получены расчетные значения скорости ветра (табл. 5.3). Вычисленная разница (табл. 5.3) между фактическими и расчетными значениями (Δ) находится в пределах от 0% до 4% для среднегодовых значений скорости ветра.

Проводя подобную оценку для среднемесячных значений скорости ветра (табл. 5.4), разброс погрешности несколько увеличивается и находится в пределах от 0% в сентябре до 12% в декабре.

По знаку Δ принимает отрицательные значения, как для среднегодовых показателей, так и для среднемесячных, т.е. расчетные значения несколько завышены по сравнению с фактическими.

Далее следует сделать попытку определения наличия на данных территориях локальных изменений ветрового потока. Для этой задачи наиболее подходят данные пространственного анализа, выполненного на основе слоев экспозиций склонов с помощью модуля Spatial Analyst.

Так, ветры южных и восточных направлений для АМСГ Пермь будут иметь несколько меньшую повторяемость в отличие от той, которая могла бы наблюдаться на ровном участке местности. Южный ветер будет приобретать черты ветра склона, несколько отклоняясь в западном направлении. Сходная ситуация наблюдается и с восточным ветром, который будет отклоняться влево.

Таблица 5.3

Оценка соответствия значений среднегодовой скорости ветра (м/с)

Год	АМСГ Пермь	МС Пермь	МС Пермь (расчетные значения)	Δ
2002	4,1	2,5	2,5	0,0
2003	4,2	2,4	2,5	-0,1
2004	3,8	2,3	2,3	0,0
2005	3,8	2,3	2,3	0,0
2006	4,2	2,4	2,5	-0,1
2007	4,2	2,5	2,5	0,0
2008	4,2	2,4	2,5	-0,1
среднее	4,1	2,4	2,4	0,0

Таблица 5.4

Оценка соответствия значений среднемесячной скорости ветра (м/с)

Месяц	АМСГ Пермь	МС Пермь	МС Пермь (расчетные значения)	Δ
январь	4,4	2,5	2,6	-0,1
февраль	4,4	2,7	2,6	0,1
март	4,8	2,8	2,9	-0,1
апрель	4,1	2,5	2,5	0,0
май	4,1	2,4	2,5	-0,1
июнь	3,7	2,2	2,2	0,0
июль	3,1	1,8	1,9	-0,1
август	3,4	2,0	2,0	0,0
сентябрь	4,0	2,4	2,4	0,0
октябрь	4,3	2,8	2,6	0,2
ноябрь	4,3	2,6	2,6	0,0
декабрь	4,1	2,2	2,5	-0,3
среднее	4,1	2,4	2,4	0,0

Известно, что направленный воздушный поток, натекая на препятствие, будет огибать его, либо перетекать через само препятствие. В районе же АМСГ Пермь складывается наиболее благоприятные условия для бокового огибания препятствия, что, собственно и подтверждают фактические данные.

Для МС Пермь ситуация несколько иная. Суммарная площадь южных и северных склонов составляет 73%. Преобладание противоположных экспозиций свидетельствует о том, что данная территория имеет сложную орографию. Таким образом, возвышенности и ложбины будут преобладающими формами рельефа. Следовательно, на данной территории имеются благоприятные участки местности для застоев воздуха.

Дальнейшее улучшение расчетных показателей такой параметризации представляет собой ряд проблем для классической оценки ветровых ресурсов на простых модельных расчетах. Наиболее очевидные из этих проблем:

Сложный рельеф

Под сложным рельефом понимается холмистая местность с крутыми склонами и застройкой с острыми гранями зданий. Классическая оценка была разработана без учета высотной застройки и холмов с пологими и умеренными склонами, где ветровой поток направлен вдоль возвышенности, то есть отрыв потока не должен наблюдаться. С другой стороны ветровой поток может иметь отрыв от поверхности на крутых склонах, в том числе по причине наличия зданий, приобретая тем самым меньше ускорения за счет усиления турбулентности на подветренном склоне. Кроме того, из-за преобладания рециркуляции и завихрений на подветренной стороне, будет наблюдаться потеря кинетической энергии, которая не учитывается в классической оценке ветровых ресурсов.

Значительная возвышенность

Значительный перепад высот так же является сложной для решения проблемой. Это особенно проявляется при моделировании воздействия возвышенности на стабильность вертикального профиля ветра. Для

удовлетворения будущих потребностей, при моделировании профиля скорости ветра важно учитывать стратификацию атмосферы и температуру.

Лесные участки

Территории, покрытые лесными массивами, так же могут служить объектами для улучшения параметризации. Считается, что измерения параметров ветрового потока не испытывают влияние лесного массива, если расстояние до точки измерения в несколько раз превышает высоту дерева, и достаточно учитывать высокую шероховатости полога леса. Такие специфические свойства района, как парки, скверы и другие объекты создают сложные взаимодействия, вызывающие местные изменения шероховатости.

Городская застройка

Оценка влияния каньонов улиц носит сложный характер. Попытки такой параметризации рассмотрены в гл. 1.

В целом данная методика микромасштабной параметризации показала достаточно высокую точность при вычислении скорости ветра с помощью геоинформационных слоев изменчивости ветрового потока. Для большей части прикладных задач результаты, полученные этим способом, имеют допустимую точность.

5.3. Исследование микроклимата долины реки Данилиха

Использование части предлагаемых методик следует продемонстрировать на экспериментальных данных. Экспериментальные исследования долины р. Данилиха были выполнены при непосредственном участии автора.

Территория р. Данилиха находится в центральной части города в Свердловском районе. В ходе эксперимента, который проводился осенью 2009 г., были получены данные о скоростях и направлениях ветра по четырем профилям с номерами 1-4 (рис. 5.6).

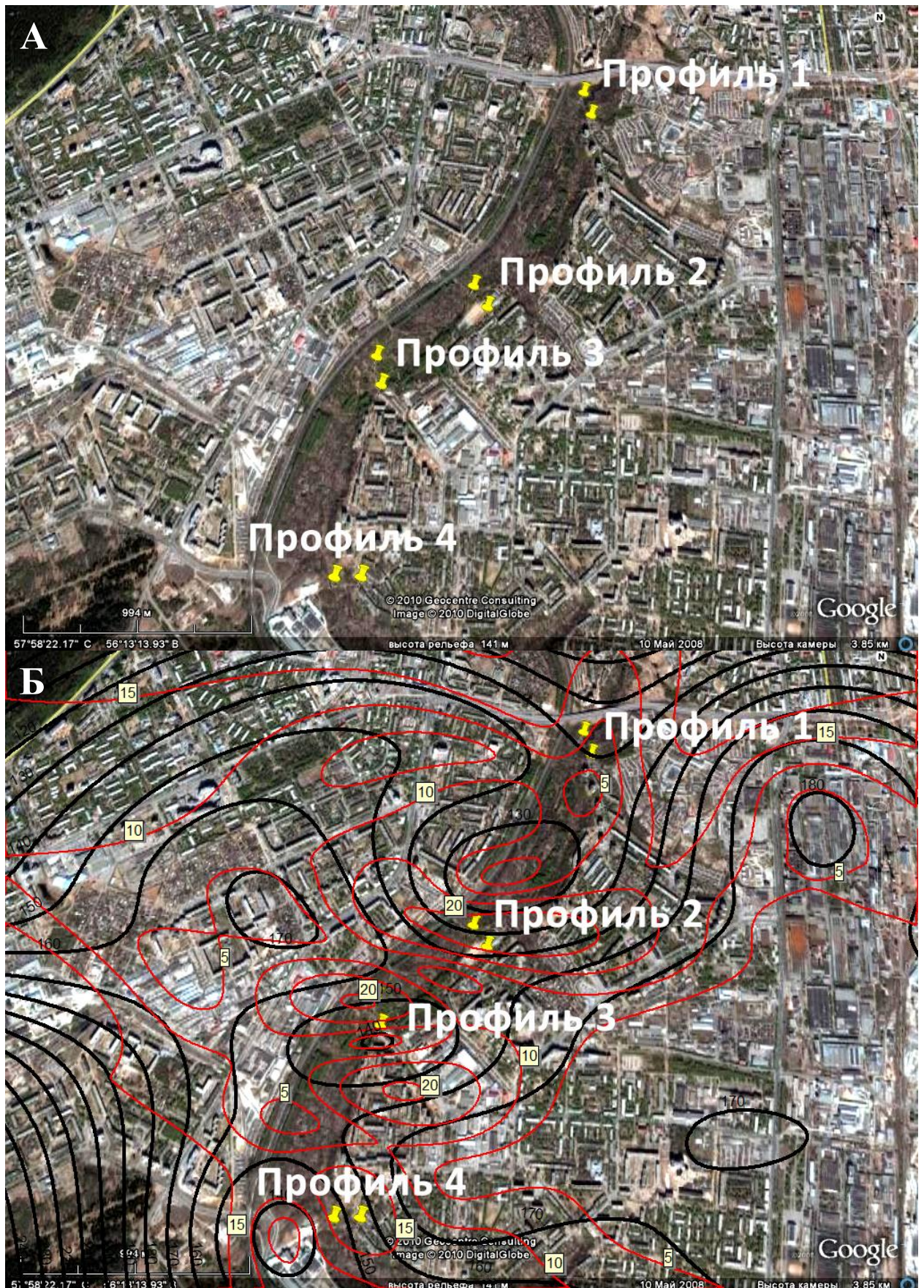


Рис. 5.6. А) Территория р. Данилиха. Спутниковый снимок, GeoEye,

Б) углы наклона местности и высоты для участка р. Данилиха

На каждом профиле проводились одновременные измерения в двух точках, расположенных в замкнутых и не продуваемых ветром ложбинах. Первая точка профиля находится непосредственно у р. Данилиха, вторая удалена от нее на расстояние примерно 100 м. и находится вблизи жилых домов на возвышенном участке. Средняя разность между высотами точек составляет около 10 метров ($\Delta h = 10$ м.). Расстояние между профилями в среднем составляет 1000 м. Измерения проводились в 11.00 по местному времени. Описание профилей можно найти в работе [59].

Оценка особенностей рельефа для территории эксперимента.

Значимую информацию для определения микроклиматических особенностей склонов реки предоставляет слой экспозиций, который позволяет оценить искажение ветрового потока в долине.

На рис. 5.7 представлен слой экспозиций склонов для района р. Данилиха. Из рисунка видно, что профили 1 и 2 находятся на северном склоне, профиль 3 – на южном, профиль 4 – на западном. Форму рельефа профиля 1 можно отнести к непродуваемым ветром ложбинам, профили 2-4 – к замкнутым ложбинам.

В районе профиля 1 должны отмечаться ветры южного, западного и юго-западного направлений, так как именно с этих склонов будет наблюдаться стекание воздушных масс. В районе профиля 2 должны отмечаться ветры юго-западного направления, реже – южного. В районе профиля 3 могут отмечаться ветры всех направлений, но чаще – западного. В районе профиля 4 чаще всего будет наблюдаться ветер западного направления. Это объясняется тем, что ложбина, в которой проводились измерения большая и достаточно широкая, а западный склон занимает большую ее часть и является наветренным. Именно поэтому здесь будет отмечаться западный ветер.

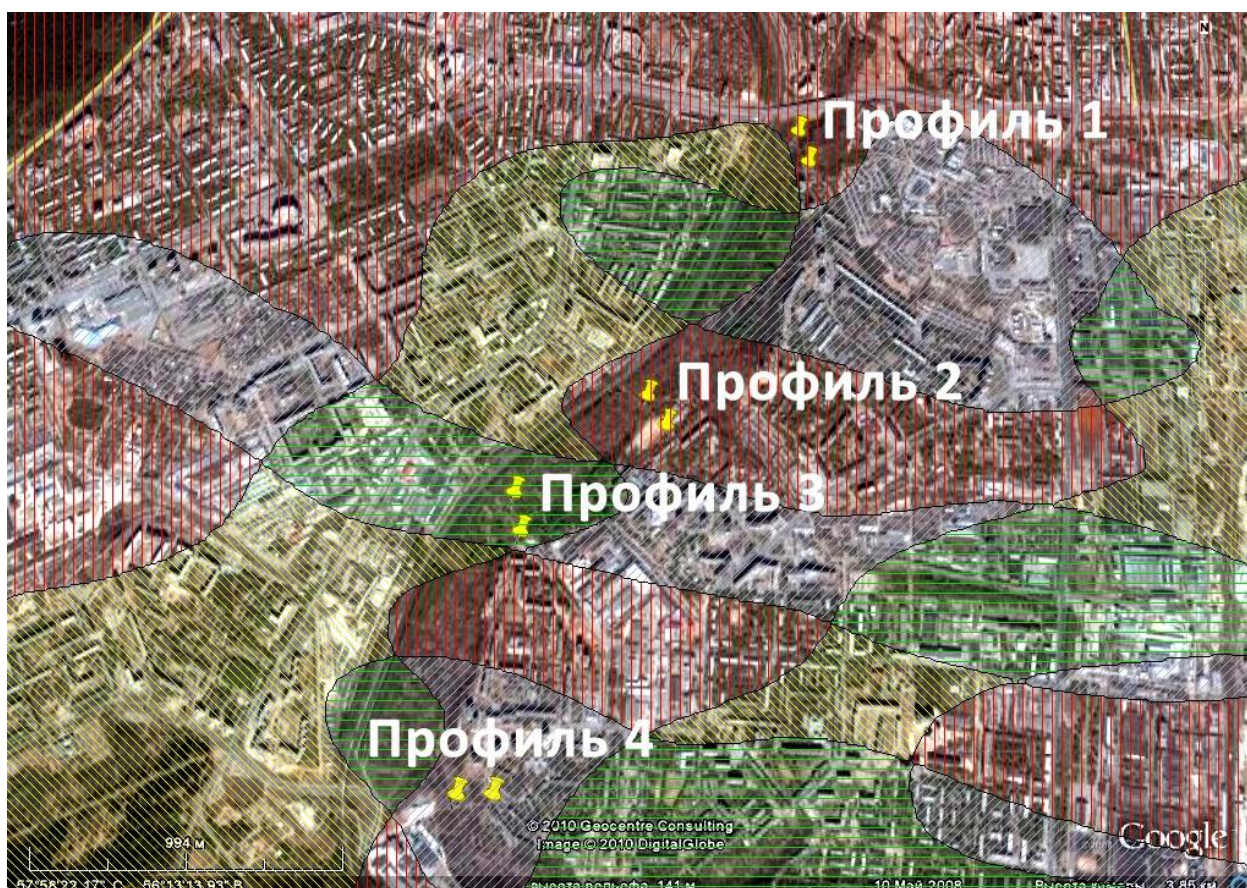


Рис. 5.7. Схема распределения склонов по экспозициям для участка р. Данилиха

Эти предположения были подтверждены экспериментальными данными, представленными в табл. 5.5 (цветом отмечены случаи безветрия). Из таблицы видно, что для первого профиля преобладающими направлениями ветра являются западное и юго-западное. Для второго профиля – юго-западное направление. Для третьего профиля преобладающие направления – западное и юго-западное. Для четвертого – западное направление. Из описанного выше следует, что сделанные предположения подтверждаются фактическими измерениями.

Из табл. 5.6 можно видеть, что на участке проведения наблюдений преобладает северный склон, а площади других категорий имеют примерно одинаковые значения.

Таблица 5.5

Направление ветра на АМСГ Пермь и в районе р. Данилиха

Дата	Направление ветра по румбам								
	АМСГ Пермь	П1- склон	П1- река	П2- склон	П2- река	П3- склон	П3- река	П4- склон	П4- река
27.11	ЮВ	З	ЮВ	-	-	-	-	-	-
01.12	-	З	СЗ	З	С	ЮЗ	ЮЗ	З	ЮЗ
03.12	ЮЗ	ЮЗ	С	Ю	Ю	ЮЗ	З	ЮЗ	З
04.12	СЗ	СЗ	СЗ	ЮЗ	ЮЗ	З	СЗ	СЗ	С
07.12	ЮЗ	З	ЮЗ	В	ЮВ	ЮЗ	Ю	ЮВ	Ю
08.12	ЮЗ	ЮЗ	З	ЮЗ	ЮЗ	З	З	З	З
10.12	ЮЗ	ЮЗ	-	ЮЗ	-	ЮЗ	-	Ю	З

Таблица 5.6

Процентное соотношение площади склонов долины р. Данилиха (на участке наблюдений)

Экпозиция	Долина р. Данилиха
Северный склон	33%
Восточный склон	23%
Южный склон	21%
Западный склон	23%

Определение коэффициентов изменчивости показывает, что при южном ветре:

- на северных склонах (подветренные склоны) будет отмечаться ослабление скорости ветра;
- на западных и восточных склонах (параллельные ветру склоны) – нормальные скорости ветра;
- на южных склонах (наветренные) – усиление скорости ветра.

При западном ветре:

- на восточных склонах (подветренные склоны) будет отмечаться ослабление скорости ветра;
- на северных и южных склонах (параллельные ветру склоны) – нормальные скорости ветра;
- на западных склонах (наветренные) – усиление скорости ветра.

Для территории р. Данилиха однозначный вывод сделать нельзя. Так непосредственно у реки всегда будет отмечаться ослабление скорости ветра, на востоке от реки – нормальные скорости, на западе может отмечаться усиление скорости ветра.

Оценка некоторых особенностей ветрового режима

Для большей точности учитывалась синоптическая ситуация в исследуемый период, информация о которой приведена в табл. 5.7.

Таблица 5.7

Синоптическая ситуация и тип поля давления в исследуемый период

Дата	Описание синоптической ситуации	Поле давления
27.11	Юго-восточная периферия циклона; волна на фронте	Циклоническое поле
01.12	Малоградиентное поле повышенного давления	Малоградиентное поле
03.12	Южная часть обширного циклона (p=985 гПа); область холодного фронта, значительный градиент давления	Циклоническое поле
04.12	Тыл заполняющегося циклона (p=990 гПа)	Циклоническое поле
07.12	Центр усиливающегося антициклона (p=1035 гПа)	Антициклоническое поле
08.12	Центр усиливающегося антициклона (p=1035 гПа)	Антициклоническое поле
10.12	Центр разрушающегося антициклона (p=1030 гПа)	Антициклоническое поле

Так, 01.12 отмечалось малоградиентное поле давления. Именно в этот день наблюдалось безветрие в районе эксперимента. Циклоническое поле отмечалось 3.12 и 4.12. В этот период были зафиксированы максимальные скорости ветра практически для всех точек. 27.11 так же отмечалось циклоническое поле давления. Но в связи с тем, что в первый день эксперимента проводились измерения только на одной точке, этот день в дальнейшем анализе учитываться не будет. В последние дни эксперимента отмечался обширный антициклон, который обуславливал малые скорости ветра.

Как было отмечено ранее, микроклиматические особенности максимально проявляются при антициклональном режиме погоды. Следовательно, датам - 07, 08 и 10 декабря стоит уделить наибольшее внимание.

Сравнение скорости ветра также проводилось с данными по АМСГ Пермь (табл. 5.8).

Таблица 5.8

Скорость ветра на АМСГ Пермь и в районе р. Данилиха (м/с)

Дата	Скорость ветра								
	АМСГ Пермь	П1- склон	П1- река	П2- склон	П2- река	П3- склон	П3- река	П4- склон	П4- река
27.11	3	0,1	0,7	-	-	-	-	-	-
01.12	0	0	0	0	0	0,1	0	0,1	0
03.12	8	3,6	1,4	3,7	0	3,1	0,4	1,2	1,7
04.12	5	2,3	2,2	1,5	0,2	1,3	0,7	4	0,8
07.12	3	0,4	0,2	1,7	0,1	0,7	1,4	1,2	0,3
08.12	4	2,4	1	3,5	1,3	2,6	1,8	1,5	1,5
10.12	2	1,3	0	0,8	0	1,1	0	0,8	0,8

Из таблицы видно, что в период с циклоническим полем давления на АМСГ отмечались скорости 5-8 м/с, поэтому для него были построены

геоинформационные слои (рис. 3-4, 7-8 в прил. 3). При антициклоническом поле были зафиксированы скорости 2-4 м/с (рис. 1-2, 5-6 в прил. 3).

Наибольшее ослабление скорости ветра в долине реки относительно измерений на АМСГ Пермь будет отмечаться при циклоническом поле и западном и юго-западном, т.е. при направлении потока по нормали к долине.

Наибольшее усиление скорости ветра в долине реки относительно измерений на АМСГ Пермь будет отмечаться уже при антициклоническом поле и северном и северо-западном направлении ветра.

Для большего удобства сравнения был рассчитаны коэффициенты изменчивости скорости для каждой точки (табл. 5.9), которые представляют собой отношение скорости в заданной точке к ее величине на ровной местности, за которую были приняты данные АМСГ Пермь.

Таблица 5.9

Коэффициенты изменения скорости ветра в исследуемый период

Дата	Коэффициенты изменения скорости ветра (К)								
	АМСГ Пермь	П1- склон	П1- река	П2- склон	П2- река	П3- склон	П3- река	П4- склон	П4- река
27.11	1	0,03	0,23	-	-	-	-	-	-
01.12	1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
03.12	1	0,45	0,18	0,46	0,00	0,39	0,05	0,15	0,21
04.12	1	0,46	0,44	0,30	0,04	0,26	0,14	0,80	0,16
07.12	1	0,13	0,07	0,57	0,03	0,23	0,47	0,40	0,10
08.12	1	0,60	0,25	0,88	0,33	0,65	0,45	0,38	0,38
10.12	1	0,65	0,00	0,40	0,00	0,55	0,00	0,40	0,40

Расчет по геоинформационным слоям для ложбин, долин рек и оврагов имеет такую особенность, что эмпирически установлена только верхняя граница ослабления ветрового потока, можно выявить такие значения, превышение которых не наблюдается. Более точные расчеты можно производить только с уточнением коэффициентов изменения, выявленных для конкретной исследуемой территории. Так, из всех измерений, не

попадающих в такие расчетные границы, приводимые ранее в табл. 2.3, является только одно измерение – 08.12, профиль 2 (склон). Наиболее вероятная причина – сложность классификации переходных типов ложбин, для которых были представлены коэффициенты. Переходная составляющая между не продуваемой ложбины от замкнутой, без скорректированного коэффициента могла являться причиной возникновения такой погрешности.

В период, когда отмечалось малоградиентное поле повышенного давления (01.12), ветра не было, поэтому выявить какие либо особенности циркуляции не представляется возможным.

На склоне в период преобладания антициклонической циркуляции скорость ветра наиболее близка к той, что отмечалась на АМСГ Пермь. В период преобладания циклонической циркуляции скорость ветра несколько ниже, чем в случае с антициклонической циркуляцией. Средняя величина изменений коэффициента K составила 0,20 (табл. 5.10).

Еще одной характеристикой изменчивости ветрового потока может служить разность между показаниями точек каждого из профилей (табл. 5.10).

Таблица 5.10

Изменение ΔK для профилей

Дата	Профиль 1	Профиль 2	Профиль 3	Профиль 4
1 декабря.	0,00	0,00	0,00	0,00
3 декабря	0,28	0,46	0,34	0,06
4 декабря	0,02	0,26	0,12	0,64
7 декабря	0,07	0,53	0,23	0,30
8 декабря	0,35	0,55	0,20	0,00
10 декабря	0,65	0,40	0,55	0,00

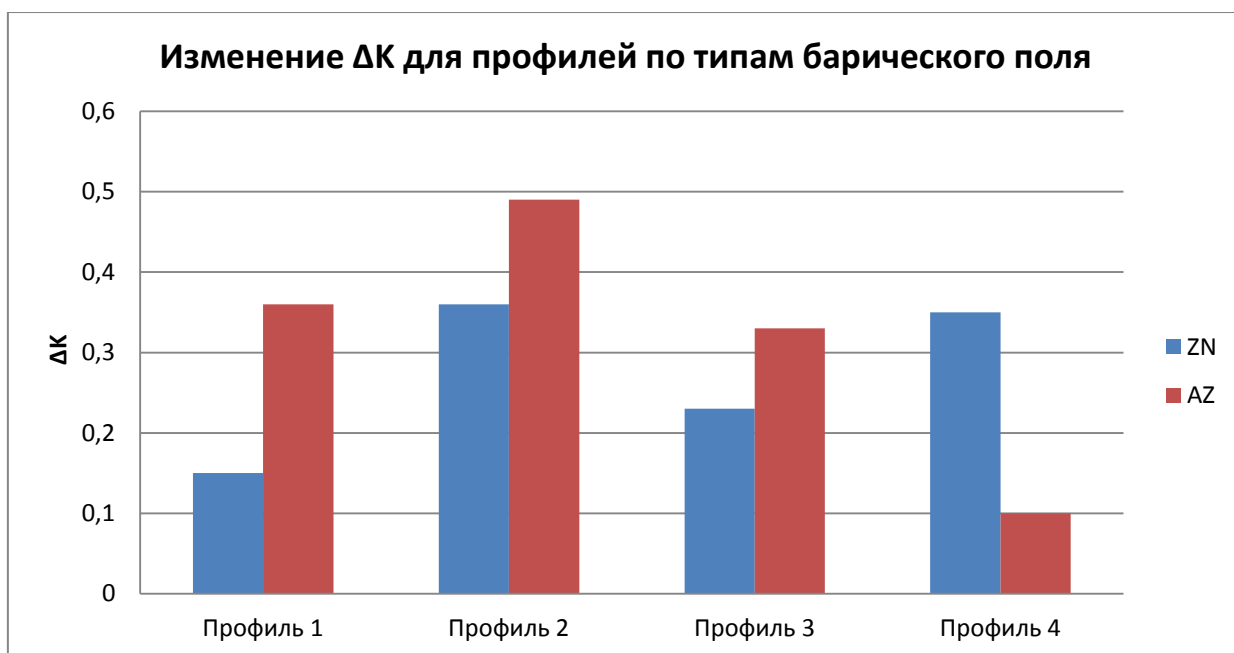


Рис. 5.8. Изменения ΔK для профилей

Наименьшие отличия между точками долины «река» - «склон» зафиксированы на профиле 4. Это объясняется тем, что ложбина, в которой находится профиль наиболее широкая и точки находятся не в самой низкой ее части. Поэтому различия между показаниями точек минимальные (табл. 5.9). Наибольшие отличия отмечались на профиле 2, что может объясняться хорошей защищенностью точки «река» от ветров юго-западных направлений. В то же время, точка на склоне практически не защищена от ветра, что подтверждается скоростями ветра, наиболее близким к их величине на АМСГ Пермь (табл. 5.9). Стоит отметить, что изменение скорости ветра для профилей при наблюдавшемся циклоническом поле давления меньше, чем при антициклональном на всех профилях, кроме 4-го (рис. 5.8).

Таким образом, ветровой режим долины значительно отличается от того, что наблюдается на АМСГ Пермь.

Основные выводы

1. Значительное влияние на термический режим оказывают изменения характера и свойств подстилающей поверхности,

2. Влияние пространственных различий поступившей прямой солнечной радиации к земной поверхности на термический режим не так значительно.
3. Средняя температура МС Пермь в зимний период выше, чем на АМСГ Пермь, а в летний период ниже.
4. Отмечается тренд на повышение температур как среднегодовых, так и за летний период, который связан с активной антропогенной деятельностью в последние десятилетия и с последующим изменением структуры подстилающей поверхности.
5. Анализ термического режима с учетом синоптической ситуации при исследовании коротких рядов микроклиматических измерений без деления на периоды «день-ночь» не показателен в силу взаимной компенсации суточных экстремумов температуры.
6. Проведена оценка соответствия значений среднемесячной и среднегодовой скорости ветра с учетом корректирующего коэффициента к фактическим скоростям ветра.
7. Вычисленная разница между фактическими и расчетными значениями скорости ветра не превышает 4%.
8. Разница для среднемесячных значений скорости ветра достигает 12%.
9. Ветры южных и восточных направлений для микрорайона «Архирейка» имеют меньшую повторяемость в отличие от той, которая могла бы наблюдаться на ровном участке местности.
10. Среднее значение скорости ветра по данным проведенного исследования складывается за счет пиковых минимальных (летних) и максимальных (зимних) значений.
11. В ходе микроклиматического исследования долины р. Данилиха была подтверждена приемлемая точность расчетных характеристик ветрового потока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были предложены способы совершенствования микроклиматических исследований, разработан алгоритм комплексного анализа особенностей микроклимата, и была выполнена комплексная оценка микроклиматических особенностей с использованием современных ГИС-технологий и космических снимков (на примере 4-х районов г. Перми).

После проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Разработан метод комплексной оценки состояния микроклимата с использованием ГИС и спутниковых снимков по 6 основным компонентам микроклиматической системы: рельеф территории, особенности подстилающей поверхности, радиационный режим, оценка облачного режима, термический и ветровой режим территории. Предложены авторские методики: по оценке особенностей подстилающей поверхности в виде двухуровневой модели – базиса и производных, по оценке подстилающей поверхности в динамике, по определению продолжительности солнечного сияния по данным срочных измерений АМСГ, по расчету потоков солнечной радиации с использованием растровой алгебры ГИС.

2. Адаптирована для ГИС методика [32] определения изменчивости ветрового потока и проведена оценка соответствия значений расчетной и фактической скорости ветра. Разница между фактическими и расчетными значениями не превышала 10%. В ходе экспериментального микроклиматического исследования, проведенного с участием автора, была подтверждена указанная точность расчетных характеристик ветрового потока.

3. Установлено, что создаваемые геоинформационные слои с экспозицией склонов и уклоном, рассчитываемые по цифровой модели рельефа местности являются обязательной и достаточной информацией для выявления базовых морфометрических особенностей, влияющих на

перераспределение значимых характеристик, таких как потоки солнечной радиации, термический и ветровой режим.

4. Определены процентные соотношения повторяемости сплошной облачности нижнего яруса и отсутствия облаков в г. Перми за летние месяцы. Случаи с облачностью нижнего яруса значительно превышает их число с безоблачной погодой. Вклад сплошной облачности нижнего яруса не превышает 10%. Получены оценочные значения поступающей солнечной радиации в кВт/м^2 как с учетом облачности, так и для безоблачной погоды. Также получены относительные значения притока солнечной радиации в процентах от радиации на ровном месте для оценки теплового эффекта.

5. Установлено, что значения температуры на МС Пермь в зимний период превышают значения температуры на АМСГ Пермь. Максимальная разность температур составила $1,5^\circ$. В летний период температура на АМСГ Пермь выше, чем на МС Пермь. Максимальная разность температур составила 2° . Наибольшее сходство 2-х температурных рядов наблюдается весной и осенью. Отмечается тренд на повышение средних температур.

6. Установлено, что значительное влияние на термический режим территории оказывают изменения характера и свойств подстилающей поверхности, в то время как влияние пространственных различий поступившей прямой солнечной радиации к земной поверхности не так значительно. Анализ термического режима с учетом синоптической ситуации при исследовании коротких рядов микроклиматических измерений без деления на периоды «день-ночь» не показателен в силу взаимной компенсации суточных экстремумов температуры.

7. Установлено, что условия рельефа микрорайона «Архирейка» благоприятны для возникновения застоев воздуха и понижению скорости ветра. В юго-западной части территории аэропорта Б. Савино условия рельефа способствует искажению ветрового потока, вызванного обтеканием препятствий.

8. Установлено, что главным фактором, влияющим на структуру подстилающей поверхности, является урбанизация, активная антропогенная деятельность и сокращение естественных территорий. Количественно оценены изменения в структуре землепользования, связанные с антропогенной деятельностью. Установлено, что существенное влияние на термический режим исследуемых территорий оказывает альbedo поверхности. Отмеченный тренд на повышение температур как среднегодовых, так и летних, связан с активной антропогенной деятельностью в последние десятилетия и изменением структуры подстилающей поверхности.

9. Предложен алгоритм и даны рекомендации по проведению микроклиматического анализа территорий, обозначены дальнейшие направления развития и усовершенствования разработанной модели исследования. Даны рекомендации по использованию снимков Landsat для микроклиматических исследований. Предложена структура подсистемы учета облачности в реальном времени по спутниковым космическим снимкам региональной геоинформационной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю. Исследование теплового острова Москвы по разносезонным снимкам Landsat-7/ETM+ // Геоинформатика, 2011, (3): с. 61–69.
2. Балдина Е.А., Грищенко М.Ю., Федоркова Ю.В. (http://www.geogr.msu.ru/cafedra/karta/materials/heat_img/files/2/urbanizirovannye_territorii.htm дата обращения 29.06.2014)
3. Барановский Н.В., Жарикова М.В. Геоинформационные технологии в прогнозировании пожарной безопасности сельских населенных пунктов // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 11. С. 71 – 80.
4. Барановский Н.В., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н. Проект веб-ориентированной географической информационной системы прогноза лесной пожарной опасности с применением параллельных вычислительных технологий // Экологические системы и приборы. 2012. № 8. С. 22 – 27.
5. Берлянт А.М. Геоиконика // М., «Астрей», 1996. 208 с.
6. Ветров А.Л., Шихов А.Н. Исследование условий развития и оценки последствий сильных шквалов в прикамье 18 июля 2012 года // Вестник Удмуртского университета. 2013. Вып. 2. С. 89-99.
7. Воронина П. В., Мамаш Е. А. Классификация тематических задач по данным дистанционного зондирования MODIS. Обработка пространственных данных и дистанционный мониторинг природной среды и масштабных антропогенных процессов (DPRS'2013). Тезисы Всероссийской конференции (30 сентября – 04 октября 2013 г.) // Барнаул: Пять плюс, 2013. – С. 15.
8. Гейгер Р. Климат приземного слоя воздуха. — М.: ИЛ, 1960. 488 с.
9. Дроздов О.А., Кобышева Н.В. Климатология. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 568 с.

10. Дюшен-Мюрилаз Ф. Ветер в застройке // Труды 1-го Междунар. симпоз. по строительной климатологии. Ч. III. — М., 1982. С. 5—15.
11. Зилитинкевич С.С. Строение приземного слоя атмосферы при нестационарных условиях // Метеорология и гидрология, 1963. - № 1. -С. 31-37.
12. Зилитинкевич С.С. Динамика пограничного слоя атмосферы. Л.:Гидрометеиздат, 1970. С. 291.
13. Зуев В.Е., Титов Г.А. Оптика атмосферы и климат. Томск: Изд-во «Спектр» института оптики атмосферы СО РАН, 1996, 271 с.
14. Исаков С.В. Использование геоинформационных систем для комплексной оценки микроклиматических особенностей территории // Метеоспектр. М.:Росгидромет, 2013. С. 80-85.
15. Исаков С.В. Определение динамики изменения дифференциального альbedo территории // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч.тр. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2013. С. 72-78.
16. Исаков С.В., Шкляев В.А. Определение суммарного влияния антропогенноизмененных поверхностей на возникновение эффекта «городского острова тепла» с использованием геоинформационных систем // Вестник Оренбургского Государственного Университета, №1, 2014. С. 178-182.
17. Исаков С.В., Шкляев В.А.. Оценка поступления солнечной радиации на естественные поверхности с применением геоинформационных систем // Географический вестник. Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2012. № 1 .С. 72-80.
18. Исаков С.В., Шкляев В.А.. Применение карт дифференциального альbedo для оценки теплового эффекта «городского острова тепла» с использованием геоинформационных систем // Геоинформационное обеспечение пространственного развития Пермского края: сб. науч. тр. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 2011. С. 59-64.

19. Калинин Н.А. Динамическая метеорология. Пермь: Пермское книжное издательство, 2009. 256 с.
20. Кислов А.В., Константинов П.И. Детализированное пространственное моделирование температуры Московского мегаполиса // Метеорология и гидрология, 2011. №5. с 25-32.
21. Кондратьев К. Я. Актинометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1965, 690 с.
22. Кондратьев К. Я. Лучистая энергия Солнца. Под ред. проф. П. Н. Тверского. Л.: Гидрометеиздат, 1954, 600 с.
23. Кондратьев К.Я., Пивоварова З.И., Федорова М.П. Радиационный режим наклонных поверхностей. Л.: Гидрометеиздат, 1978. 170 с.
24. Лайхтман Д.Л. Физика пограничного слоя атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 341 с.
25. Ландсберг Г. Климат города. Л.: Гидрометиздат. 1983. 230 с.
26. Лурье И.К. Геоинформатика. Учебные геоинформационные системы. — М.: Изд-во МГУ, 1997. 115 с.
27. Ляхов А.А., Тимофеев И.Ю. Влияние экстремальных гидрометеорологических условий на эффективность хозяйственной деятельности жилищно-коммунальной отрасли в мегаполисах // Международная конференция по проблемам гидрометеорологической безопасности. Тезисы докладов. Географический вестник №3 (14). М., 2006. С. 40.
28. Матвеев Л.Т. Динамика облаков, Л., Гидрометеиздат, 1981. 311с.
29. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 751 с.
30. Матвеев Л.Т. Теория общей циркуляции атмосферы и климата земли. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 295 с.
31. Мезо- и микроклиматология. – Л.: Гидрометеиздат, 1985. Труды ГГО. Вып. 502.

32. Методические указания по производству микроклиматических обследований в период изысканий / под ред. Гольцберг И.А. Л.: Гидрометиздат. 1969. 63 с.
33. Микроклимат СССР / под ред. И.А. Гольцберг. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 285 с.
34. Монин А.С., Обухов А.М. Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы // Труды Ин-та геофиз. АН СССР.- 1954.-№24.-С. 163-187.
35. Мягков С.М. Механизм формирования теплового баланса в городской застройке на примере г. Москвы/ Авт. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. М. 2004. 26 с.
36. Несмелова Е.Н. Микроклимат Сатинского полигона / под ред. М.А. Петросянца. М.: Изд-во МГУ, 1992. 74 с.
37. Николаев А.А. Климатические ресурсы солнечной радиации на территории Удмуртской республики // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 4. С. 115-121.
38. Николаев А.А. Пространственное распределение показателей гелиоэнергетического потенциала на территории Среднего Поволжья // Современные проблемы географии и природопользования. 2001. Вып. 5-6. С. 141-144.
39. Оке Т.Р. Климаты пограничного слоя. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 250с.
40. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Шанталинский К.М. и др. Изменения климатических условий и ресурсов Среднего Поволжья. Казань: Центр инновационных технологий, 2011. 295 с.
41. Переведенцев Ю.П., Матвеев Ю.Л. Экология атмосферы. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2000, 130 с.
42. Переведенцев Ю.П., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Климатические условия и ресурсы Республики Удмуртия. Казань: КГУ, 2009. 211 с.

43. Переведенцев Ю.П., Николаев А.А. Климатические ресурсы солнечной радиации и ветра на территории Среднего Поволжья и возможности их использования в энергетике. Казань: Отечество, 2002. 120 с.
44. Пигольцина Г.Б. Радиационные факторы мезо- и микроклимата. СПб.: СПбГЛТА, 2003. 200 с.
45. Пьянков С.В., Калинин Н.А., Связов Е.М., Смирнова А.А., Некрасов И.Б. Мониторинг состояния сельскохозяйственных культур в Пермском крае по данным дистанционного зондирования Земли // Вестн. Перм. ун-та. Сер. Биология. 2009. Вып. 10 (36). С. 147-153.
46. Пьянков С.В., Шавнина Ю.Н., Шихов А.Н. Комплексный подход в исследовании динамики процессов снеготаяния на водосборах рек // Вестник Удмуртского университета. 2012. Вып. 4. С. 136-145.
47. Романова Е.Н. Микроклиматическая изменчивость основных элементов климата. Л.: Гидрометеиздат, 1983.
48. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы использования систематизированной климатической и микроклиматической информации при развитии и совершенствовании градостроительных концепций. СПб.: Гидрометеиздат, 2000. 160 с.
49. Романова Е.Н., Гобарова Е.О., Жильцова Е.Л. Методы мезо- и микроклиматического районирования для целей оптимизации размещения сельскохозяйственных культур с применением технологии автоматизированного расчета. СПб.: Гидрометеиздат, 2003. 104 с.
50. Романова Е.Н., Молосова Р.И. Микроклиматология и ее значение для сельского хозяйства. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 320 с.
51. Сапожникова С.А. Микроклимат и местный климат. Л.: Гидрометеиздат. 1950. 240 с.
52. Сердитова Н.Е. Методология анализа данных дистанционного зондирования атмосферы и подстилающей поверхности в контуре ГИС / Авт. на соиск. уч. ст. док. геогр. наук. Санкт-Петербург, 2011. 33 с.

53. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 232 с.
54. Симанков В.С., Шопин А.В., Буцацкий П.Ю. Моделирование инсоляции при управлении фотоветроэнергетическими системами // Труды ФОРА, 2000. Вып. №5. С. 67-71.
55. Тикунов В.С. Моделирование в картографии: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 1997. 405 с.
56. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология: Учебник. М.: Из-во Моск. ун-та: Наука, 2006. 582 с.
57. Четвертый оценочный доклад МГЭИК, 2007. IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change (AR4). Geneva, 2007.
58. Шерстюков Б.Г. Современные изменения климата: пространственно-временные особенности и основные причины // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований: тр. всерос. науч. конф. с междунар. участием. Казань: Казан. гос. ун-т, 2009. Т. II. С. 239–242.
59. Шкляев В.А., Ермакова Л.Н., Шкляева Л.С. Исследование микроклимата города с целью оценки биометеорологических показателей селитебной территории // Географический вестник №3 (14). Пермь, 2010. С. 47-56.
60. Шкляев В.А. Исаков С.В. Оценка баланса коротковолновой радиации территории с применением геоинформационных систем // Вестник Удмуртского ун-та, Сер. 6. Биология, Науки о Земле, 2014. №2. С. 122-133.
61. Энциклопедия климатических ресурсов Российской Федерации / под ред. Кобышевой Н.В. Хайруллина К.Ш./ СПб.: Гидрометеиздат, 2005. 320 с.
62. Aguilar A.G., Ward P.M., Smith C.B. Globalization, regional development and mega city expansion in Latin America: Analyzing Mexico City's periurban hinterland, Cities, 20(1), 2003. P. 3–21.

63. Akbari H., Pomerantz M., Taha H. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Journal of solar energy* 70, 2001. P. 259-310.
64. ArcGIS 9 Using ArcGIS 3D Analyst. Gis by ESRI. 2004. 390 p.
65. ArcGIS 9 Using ArcGIS Spatial Analyst. Gis by ESRI. 2004. 233 p.
66. Barr M. J., Barnsley S. L. Monitoring urban land use by Earth observation // *Surveys in Geophysics*, 21, 2000. P. 269–289.
67. Batty M., Howes D. Predicting temporal patterns in urban development from remote imagery // J. P. *Remote sensing and urban analysis*, 2001. P. 185–204.
68. Bounoua L., Defries R., Collatz G.J., Sellers P., Khan H. Effects of land cover conversion on surface climate // *Climatic Change* 52, 2002. P. 29–64.
69. Bradley A., Thornes J., Chapman L., Unwin D., Roy M. Modelling spatial and temporal road thermal climatology in rural and urban areas using a GIS // *Climate Research*, 2002, Vol. 22. P. 41–55.
70. Chandler, T.J. *The Climate of London*. Hutchison, London, 1965. P. 71.
71. Clarke J.F., McElroy J.L. Experimental studies of the nocturnal urban boundary layer // *Urban climatology*. WMO Tech Note N 108, 1970. P. 108—112.
72. Crist E.P. Vegetation and soils information contained in transformed Thematic Mapper data // *International Geosciences and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*’ 86 Symposium, 1986.
73. Dewan A.M., Yamaguchi Y. Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: using remote sensing to promote sustainable urbanization. *Applied Geography*, 29, 2009. P. 390–401.
74. Dickinson R.E. Land surface processes and climate-surface albedos and energy balance. *Adv. Geophys.* 25, 1983, 305–353.
75. Dubayah R., Rich P.M. GIS and Environmental Modeling: GIS-based solar radiation modeling // *Progress and Research Issues*. GIS World Books. Fort Collins, CO. 1996. P. 129-134.

76. Dubayah R., Rich P.M. Topographic solar radiation models for GIS // International Journal of Geographical Information Systems, 9, 1995. P. 405–19.
77. Duckworth F.S., Sandberg J.S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients // Bull. Am. Meteorol. Soc, N 35, 1954. P. 198–207.
78. Flanner M.G. Integrating anthropogenic heat flux with global climate models // Geophys. Res. Lett., 36, 2009. 6 p.
79. Frank HP., Rathmann O., Mortensen N.G., Landberg L. The numerical wind atlas – the KAMM/WAsP method // Riso-R-1252(EN), Riso National Laboratory, Roskilde, 2001. P. 65–71.
80. Frederick R.H. A study of the effect of tree leaves on wind movement // Mon. Weather Rev. 89, 1961. P. 39–44.
81. Fu P., Rich P.M. Design and implementation of the Solar Analyst: an ArcView extension for modeling solar radiation at landscape scales. Proceedings of the 19th Annual Esri User Conference, San Diego, USA. 1999.
(<http://proceedings.esri.com/library/userconf/proc99/proceed/papers/pap867/p867.htm> дата обращения 27.06.2014)
82. Fu P., Rich P.M. The Solar Analyst 1.0 Manual. Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA. 2000.
83. Fu P.A. Geometric Solar Radiation Model with Applications in Landscape Ecology. Ph.D. Thesis, Department of Geography, University of Kansas, Lawrence, Kansas, USA. 2000.
84. Fujibe F. Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan // Int. J. Climatol., 29, 2009. P. 1811–1822.
85. Fukui E. The recent rise of temperature in Japan. Jpn. Progr. Climatol. Tokyo, 1970. P. 46—65.

86. Gadsden S., Rylatt M., Lomas K., Robinson D. Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS. *Energy and Buildings*, 35. 2003. P. 37–48.
87. Gartland L. *Heat islands*. London: Sterling VA, 2008. 215 p.
88. Gibson R., Kallberg P., Uppala S. The ECMWF re-analysis (ERA) project // *ECSN Newsletter*, 1997, 5. P. 11-21.
89. Giordano F., Marini A. A landscape approach for detecting and assessing changes in an area prone to desertification in Sardinia (Italy) // *International Journal of Navigation and Observation*, 2008. 7 p.
90. Gray K.A., Finster M.E. *The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution*. Evanston, IL: Northwestern University, 1999.
91. Gurram M.K., Sharavjamts O., Kintada N.R. Influence of Micro-Climate Parameters on Natural Vegetation – A Study on Orkhon and Selenge Basins, Mongolia, Using Landsat-TM and NOAA-AVHRR Data // *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 2013, vol. 2. P. 160-172.
92. Hage K.D. Nocturnal temperatures in Edmonton, Alberta. *Appl-Meteorol.*, N 11, 1972. P. 123—129.
93. Hagishima A., Tanimoto J. Investigations of urban surface conditions for urban canopy model. *Building and Environment*, 2005. Vol. 40, P. 1638–1650.
94. Herold M., Clarke K.C., Scepan J. Remote sensing and land-scape metrics to describe structures and changes in urban land use // *Environment and Planning A*, 34, 2002. P. 1443–1458.
95. Howard L. *The climate of London deduced from meteorological observations*. London: W. Phillips, 1818.
96. Hutcheon R. J., Johnson R.H., Lowry W.P., Black C.H. Hadley D. Observations of the urban heat island of a small city // *Bull. Am. Meteorol. Soc*, N 48, 1967. P. 7—9.

97. Jackson T.L., Feddema J.J., Oleson K.W., Bonan G.B., Bauer J.T. Parameterization of Urban Characteristics for Global Climate Modeling, *Annals of the Association of American Geographers*, 2010. 100:4, P. 848-865
98. Kondo H., Tokairin T., Kikegawa Y. Calculation of wind in a Tokyo urban area with a mesoscale model including a multi-layer urban canopy model. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2008. Vol. 96, P. 1655–1666.
99. Kondratyev K. Ya. Radiation in the atmosphere. N.Y.: Academic Press, 1969, 912 p.
100. Kumar L., Skidmore A.K., Knowles E. Modelling topographic variation in solar radiation in a GIS environment. *International Journal of Geographical Information Science*, 11. 1997. P. 475–497.
101. L'opez E., Bocco G., Mendoza M., Duhau E. Predicting land-cover and land-use change in the urban fringe: a case in Morelia city, Mexico. *Landscape and Urban Planning*, 55, 2001. P. 271–285.
102. Landberg L., Mortensen N.G. A Comparison of physical and statistical methods for estimating the wind resource at a site // *Proceedings of the Fifteenth BWEA Wind Energy Conference*. BWEA London, 1994. P. 119–125.
103. Landsberg H. E., Brush, D. Some observations of the Baltimore, Md., heat island. // *Inst. PhyJ. Sci. Technol. Tech. Note*. BN-948. Univ. of Maryland, College Park, Maryland, 1980.
104. Landsberg H. E. Atmospheric changes in a growing community // *Inst. Fluid Dynamics Appl. Math. Tech. Note*, N BN 823. Univ. of Maryland. College Park, Maryland, 1975. 54 p.
105. Landsberg H.E. Biometeorological aspects of urban climate. *Tech. Note BN-620*. Inst. for Fluid Dynamics and Appl. Math., Univ. of Maryland. College Park, 1969. Md.— 13 p.
106. Landsberg H.E. Micrometeorological temperature differentiation through urbanization. *Urban climates*. WMO Tech. Note, 1970, N 108, P. 129—136.

107. Landsberg H.E., Tromp S.W., Weihe W.H., Bourn J.J. Climate of the urban biosphere. *Biometeorology*, 1973, Vol. 5, Pt. 2, P. 71—83.
108. Li X., Yeh A.G.-O. Analyzing spatial restructuring of land use patterns in a fast growing region using remote sensing and GIS // *Landscape and Urban Planning*, 2004, 69. P. 335–354.
109. Linke F. Das Klima der Groszstadt // *Biologie der Groszstadt*, 1940. P. 75-90
110. Lu D., Weng Q. Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA // *Remote Sensing of Environment*, 2006. №104, P.157–167.
111. Mas J.F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques // *Int. J. remote sensing*, 1999, vol. 20, no. 1. P. 139-152
112. Masson V. A. Physically-Based Scheme for the Urban Energy Budget in Atmospheric models // *Bound. Layer Meteor.*, 2000. V. 94 (3). P. 357-397.
113. McCarthy M.P., Best M.J., Betts R.A. Climate change in cities due to global warming and urban effects // *Geophysical Research Letters*, Vol. 37, L09705, , 2010. 5 p.
114. McCormick R.A., Kurfis K.R. Vertical diffusion over a city // *Q. J. Roy. Meteorol. Soc*, N 92, 1966. P. 392—396.
115. McKenzie P., Cooper A., McCann T., Rogers D. The ecological impact of rural building on habitats in an agricultural landscape // *Landscape and Urban Planning* 101, 2011. P. 262–268.
116. Meaille R., Wald L. Using geographical information system and satellite imagery within a numerical simulation of regional growth // *International Journal of Geographical Information Systems*, 4(4), 1990. P. 445–456.
117. Mitchell J.M.Jr. The thermal climate of cities // *Symp. Air over Cities*, U. S. Public Health Serv. Publ. SEC. Tech. Rept, 1961 A62-5, p. 131—143.
118. Myrup L.O. A numerical model of the urban heat island. *Journal of Applied Meteorology* 8, 1969. P. 908-918.

119. Nicholas F.W. A synoptic climatology of Metro Washington: A mesoscale analysis of the urban heat island under selected weather conditions. M.S. Thesis, Dept. of Geog., Univ. of Maryland, 1971. 120 p.
120. Nunez M., Oke T.R. The energy balance of an urban canyon // *J. Appl. Meteor.*, 1977. V. 16. P. 11-19.
121. Oke T.R. *Boundary Layer Climates*. 2nd edition. Routledge, 1987: P. 250.
122. Oke T.R. The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. *Atmosphere*, 1975: P. 268-277.
123. Oke T.R. Toward a more rational understanding of the urban heat island: *McGill Climate Bulletin*, 1968. P. 20.
124. Oke T.R., East C. The urban boundary layer in Montreal // *Boundary Layer Meteorol.* №1, 1971. P. 411-437.
125. Oke T.R., Hannell F.G. The form of the urban heat island in Hamilton, Canada // *Urban Climates*, WMO Tech. Note, No. 108, 1970. P. 113-126.
126. Parker D.E. Urban heat island effects on estimates of observed climate change // *Clim. Change*, 1, 2010. P. 123–133.
127. Rich P.M., Hetrick W.A., Saving S.C. *Modeling Topographic Influences on Solar Radiation: a manual for the Solarflux model*. Los Alamos National Laboratory Report LA-12989-M. 1995.
128. Samsonov T., Semin V., Konstantinov P., Varentsov M. Calculation of geometric characteristics of land cover and urban canyon for multi-scale parameterization of megalopolis meteorological models // *ArXiv e-prints*. — 2013. — no. 1305.6067. — P. 1–17.
129. Sen Z. *Solar energy fundamentals and modeling techniques*. London: Springer, 2008. 276 p.
130. Shi Y., Xiao J., Shen Y. Quantifying the spatial differences of landscape change in the Hai River Basin, China, in the 1990s. *International Journal of Remote Sensing* Vol. 33, No. 14, 2012, P. 4482–4501.

131. Skamarock W.C., Klemp J.B., Dudhia J., Gill D.O., Barker D.M., Wang W., Powers J.G. A Description of the Advanced Research WRF Version 2. NCAR TechNote, NCAR/TN-468+STR. 2007. 88 p.
132. Song J. Diurnal asymmetry in surface albedo // *Agric. For. Meteorol.* 92, 1998, P. 181–189.
133. Synnefa A., Karlessi T. Experimental testing of cool colored thin layer asphalt and estimation of its potential to improve the urban microclimate. *Journal of building and environment*, 2011. P. 38-44.
134. Tan M., Li X., Xie H., Lu C. Urban land expansion and arable land loss in China: a case study of Beijing-Tianjin-Hebei region. *Land Use Policy*, 22, 2005. P. 187–196.
135. Terjung W.H. Climatology for Geographers. *Annals of the Association of American Geographers* 66, 1976. P. 199-222.
136. Tian G., Liu J., Xie Y., Yang Z., Z Huang. Analysis of spatiotemporal dynamic pattern and driving forces of urban land in China in 1990s using TM images and GIS. *Cities*, 22, 2005. P. 400–410.
137. Voogt J.A., Oke T.R. Thermal remote sensing of urban climate. *Remote Sensing of Environment*, 2003, 86 (3). P. 370–384.
138. Wang S. Dynamics of land surface albedo for a boreal forest and its simulation. *Ecol. Model.* 183, 2005, 477–494.
139. Wang S. Impact of climate variations on surface albedo of a temperate grassland // *Agricultural and Forest Meteorology* 142, 2007, P. 133–142.
140. Weng Q. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2009. Vol. 64, P. 335–344.
141. Weng Q., Lu D., Schubring J. Estimation of land surface temperature and vegetation abundance relationship for urban heat island studies // *Remote Sensing of Environment*, 2004, №89. P.467-483;
142. Yamaguchi Y., Dewan A.M. Using remote sensing and GIS to detect and monitor land use and land cover change in Dhaka Metropolitan of Bangladesh

during 1960–2005. *Environmental Monitoring and Assessment*, 150, 2009. P. 237–249.

143. Zhang J., Wang Y., Li Y. A C++ program for retrieving land surface temperature from the data of Landsat TM/ETM+ band6 // *Computers & Geosciences*, 2006, №32, P. 1796-1805/
144. Zhu G., Blumberg D.G. Classification using ASTER data and SVM algorithms; the case study of Beer Sheva, Israel // *Remote Sensing of Environment*, 2002, №80. P. 233-240.
145. Zilitinkevich S. S., Mammarella F., Baklanov A., Joffre S. The effect of stratification on the aerodynamic roughness length and displacement height // *Atmos. Environ*, 2007. P. 20-35.
146. Zilitinkevich S.S., Esau I.N. Similarity theory and calculation of turbulent fluxes at the surface for the stably stratified atmospheric boundary layers // *Boundary-Layer Meteorol.*, 125, 2007. P. 193-296.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Таблица 1

Численность населения Мотовилихинского района

2002 год	2012 год	2013 год
176 564 чел.	181 975 чел.	184 645 чел.

Таблица 2

Подробная информация об использованных спутниковых снимках

Landsat

Спутник (датчик)	Дата	
	Год	Месяц
Landsat 7 (ETM+)	2013	Август
	2000	Июль
Landsat 5 (TM)	1987	Июль

Таблица 3

**Высота нижней границы облачности, количество общей и нижней
облачности по срокам по данным АМСГ Пермь за период 2002-2006гг.**

(интервал 30 мин.)

Срок	Июнь			Июль			Август		
	N1	N	H _L	N1	N	H _L	N1	N	H _L
00	6	4	965	6	4	910	6	4	816
01	6	4	941	6	4	848	6	4	912
02	6	4	878	6	4	816	6	4	846
03	6	4	843	6	4	800	6	4	833
04	6	4	931	6	4	872	6	4	769
05	6	4	935	6	4	918	6	4	900
06	6	4	959	6	4	904	6	4	922
07	6	4	971	6	4	962	6	4	943
08	6	5	989	6	4	1 033	6	5	940
09	6	5	980	6	4	1 047	6	5	967
10	6	5	1 013	6	4	1 056	6	5	1 005
11	6	5	1 016	6	4	1 095	6	5	968
12	6	5	1 015	6	4	1 124	6	4	1 010
13	6	4	1 018	6	4	1 112	6	4	1 049
14	6	4	1 032	6	4	1 089	6	4	1 088
15	6	4	1 039	6	4	1 118	6	4	1 122
16	6	4	1 077	6	4	1 094	6	3	1 237
17	6	4	1 077	6	4	1 040	6	4	1 147
18	6	4	978	6	4	1 002	6	4	1 026
19	6	4	918	6	4	1 017	6	4	966
20	6	4	898	6	4	940	6	4	848
21	6	4	922	6	4	955	6	4	780
22	6	4	948	6	4	946	6	4	870
23	6	4	887	6	4	912	6	4	866
Среднее	6	4	975	6	4	997	6	4	958

**Пространственная статистика относительного притока прямой
солнечной радиации (процентное соотношение)**

Относительные изменения прямой радиации (в % от радиации на ровном месте)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21 %
0-0,2			10,99 %
0,2-0,4			8,47 %
0,4-0,6			7,32 %
0,6-0,7	0,04 %		11,87 %
0,7-0,8	14,35 %		
0,8-0,85	16,02 %		11,57 %
0,85-0,9		7,97 %	
0,9-0,95	24,01 %	20,44 %	
0,95-1,0		26,02 %	
1,0-1,05	14,00 %	17,24 %	5,05 %
1,05-1,1		20,75 %	
1,1-1,2	15,33 %	7,57 %	
1,2-1,3	13,64 %		8,14 %
1,3-1,4	2,60 %		
1,4-1,6			7,59 %
1,6-1,8			6,50 %
1,8-2,0			7,86 %
2,0-2,2			5,29 %
2,2-2,4			3,95 %
2,4-2,6			1,18 %
Среднее количество прямой радиации (%)	99 %	100 %	111 %

Пространственная статистика нисходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако в подоблачном слое при наличии сплошной облачности верхних ярусов (C_i , C_s) (абсолютные значения, кВт/м²)

Поступление радиации (кВт/м ²)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21
0,0-0,1			28,91
0,1-0,2			30,98
0,2-0,3			22,38
0,3-0,4	0,57		13,52
0,4-0,5	28,92		
0,5-0,6	35,44		
0,6-0,7	27,93		
0,7-0,8	7,14	21,49	
0,8-0,9		47,11	
0,9-1,0		31,39	
Среднее количество прямой радиации (кВт/м²)	0,56 кВт/м²	0,86 кВт/м²	0,16 кВт/м²

Таблица 6

Пространственная статистика нисходящей солнечной радиации, прошедшей сквозь облако в подоблачном слое при наличии сплошной облачности средних ярусов (A_c , A_s) (абсолютные значения, кВт/м²)

Поступление радиации (кВт/м ²)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21
0-0,05			33,71
0,05-0,10			31,49
0,10-0,15			25,03
0,15-0,20	16,73		5,55
0,20-0,25	37,79		
0,25-0,30	32,34		
0,30-0,35	13,14	18,71	
0,35-0,40		52,70	
0,40-0,45		28,58	
Среднее количество прямой радиации (кВт/м²)	0,25 кВт/м²	0,38 кВт/м²	0,07 кВт/м²

Таблица 7

**Пространственная статистика нисходящей солнечной радиации,
прошедшей сквозь облако в подоблачном слое при наличии сплошной
облачности (Ns, Cb) (абсолютные значения, кВт/м²)**

Поступление радиации (кВт/м ²)	20 марта	21 июня	21 декабря
Без освещения			4,21
0,00-0,01			22,65
0,01-0,02			27,57
0,02-0,03			16,11
0,03-0,04			18,13
0,04-0,05			11,28
0,05-0,06	19,93		0,05
0,06-0,07	27,68		
0,07-0,08	21,11		
0,08-0,09	22,30		
0,09-0,10	8,97	5,56	
0,10-0,11		38,72	
0,11-0,12		35,57	
0,12-0,13		20,16	
Среднее количество прямой радиации (кВт/м²)	0,07 кВт/м²	0,11 кВт/м²	0,02 кВт/м²

**Среднемесячная температура с учетом синоптической ситуации
(2006-2008 гг.)**

Месяц	АМСГ Пермь	МС Пермь	ΔT
январь	-14,35	-13,89	0,47
февраль	-14,30	-14,07	0,23
март	-3,61	-3,59	0,02
апрель	3,00	3,43	0,43
май	10,99	10,80	-0,19
июнь	15,88	15,38	-0,50
июль	18,82	18,72	-0,10
август	16,70	16,33	-0,37
сентябрь	11,71	11,57	-0,14
октябрь	3,56	3,09	-0,47
ноябрь	3,36	2,87	-0,49
декабрь	-7,79	-8,23	-0,45

**Среднемесячная температура без учета синоптической ситуации
(2006-2008 гг.)**

Месяц	АМСГ Пермь	МС Пермь	ΔT
январь	-12,50	-12,37	0,13
февраль	-12,93	-12,01	0,92
март	-2,87	-2,63	0,24
апрель	4,10	4,02	-0,08
май	11,40	10,91	-0,49
июнь	16,03	14,85	-1,19
июль	18,23	18,11	-0,12
август	16,63	16,26	-0,37
сентябрь	9,90	9,56	-0,34
октябрь	4,20	3,65	-0,55
ноябрь	-4,00	-4,24	-0,24
декабрь	-8,20	-7,96	0,24

Среднемесячное направление ветра

Месяц	АМСГ Пермь	МС Пермь	Δdd
январь	176	169	7
февраль	166	160	6
март	188	187	1
апрель	180	163	17
май	199	171	28
июнь	206	175	31
июль	196	145	52
август	201	160	41
сентябрь	208	194	13
октябрь	199	189	9
ноябрь	184	170	14
декабрь	182	179	3
среднее	190	172	18

Среднемесячная скорость ветра

Месяц	АМСГ Пермь	МС Пермь	Δf
январь	4,4	2,5	1,9
февраль	4,4	2,7	1,7
март	4,8	2,8	2,0
апрель	4,1	2,5	1,6
май	4,1	2,4	1,7
июнь	3,7	2,2	1,5
июль	3,1	1,8	1,3
август	3,4	2,0	1,4
сентябрь	4,0	2,4	1,6
октябрь	4,3	2,8	1,5
ноябрь	4,3	2,6	1,7
декабрь	4,1	2,2	1,9
среднее	4,1	2,4	1,7

Таблица 12

Среднегодовое направление ветра

Год	АМСГ Пермь	МС Пермь	Δdd
2002	194	170	25
2003	187	173	14
2004	187	170	16
2005	188	175	12
2006	196	171	25
2007	189	170	19
2008	191	174	17
среднее	190	172	18

Таблица 13

Среднегодовая скорость ветра

Год	АМСГ Пермь	МС Пермь	Δff
2002	4,1	2,5	1,6
2003	4,2	2,4	1,8
2004	3,8	2,3	1,5
2005	3,8	2,3	1,5
2006	4,2	2,4	1,8
2007	4,2	2,5	1,7
2008	4,2	2,4	1,8
среднее	4,1	2,4	1,7

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица 1

Выборка дат с антициклоническим полем давления в 2006 году

Месяц	Дни с Az полем давления	Общее число дней
Январь	1-7, 10, 20-26	15
Февраль	10-23	14
Март	2, 12-16	6
Апрель	8-10, 19, 28-30	7
Май	1-6, 8-10, 14, 16, 18-22	16
Июнь	4-5, 13-15, 21-23	8
Июль	9-12	4
Август	4-5, 9, 14-18, 23-26	12
Сентябрь	3-4	2
Октябрь	3-4, 7-13, 17-18, 21-24	15
Ноябрь	22-25, 27-29	7
Декабрь	---	---
Год		106 (29%)

Таблица 2

Выборка дат с антициклоническим полем давления в 2007 году

Месяц	Дни с Az полем давления	Общее число дней
Январь	27	1
Февраль	10, 13-14, 18, 26-27	6
Март	01, 6-13, 20-30	20
Апрель	11-12, 19	3
Май	7, 20-21, 27-31	8
Июнь	13, 17-18, 25, 30	5
Июль	13, 24-27, 30-31	7
Август	1-3, 6, 8, 10, 13-25	17
Сентябрь	4-5, 7, 13-14, 21-29	14
Октябрь	2-8, 21-31	18
Ноябрь	1,7-10, 15	6
Декабрь	3-4, 9-12, 14-15	8
Год		113 (31%)

Таблица 3

Выборка дат с антициклоническим полем давления в 2008 году

Месяц	Дни с Az полем давления	Общее число дней
Январь	1-12	12
Февраль	6-9	4
Март	10-12, 29-31	6
Апрель	1-3, 5-6, 8-9, 16-18, 30	11
Май	1, 3-5, 11, 18-20, 24	9
Июнь	9, 12-13, 16-18	6
Июль	5, 8-10, 17-20, 22	9
Август	12-19, 25	9
Сентябрь	4-5, 7, 18-25, 28	12
Октябрь	3, 6-7, 26-27, 31	6
Ноябрь	13-14, 25-26, 30	5
Декабрь	1-4, 13, 17-18, 20-26	14
Год		103 (28%)

Альбедо локальных поверхностей [35]

Вид поверхности	Альбедо, %
а) Природные поверхности	
Поверхность водоемов	9
Сухой светлый песок	34-52
Мокрый песок	16
Сухая темная почва	14
Увлажненная темная почва	8
Сухая серая почва	25-30
Увлажненная серая почва	10-12
Малогумусная сухая почва	30
Трава сухая, выгоревшая	19
Трава зеленая	20-26
Зерновые культуры	15-25
Лес хвойный	10-15
Лес смешанный	15
Лес лиственный	15-20
Лес лиственный без листвы зимой при снеге	30
Снег чистый, сухой	71
Снег грязный, сухой	64
Снег тающий, грязный	56
Снег загрязненный вдоль автомагистралей	30
б) Городские поверхности	
Бетон	10-35
Кирпич	20-35
Проезжие части улиц	14-15
Асфальтовые тротуары, асфальтобетон	10

Продолжение таблицы 4	
Листовое стекло	8
Гудрон, рубероид с песчаной посыпкой	10
Сталь листовая, окрашенная темно- красной краской зеленой краской	20 40
Сталь кровельная, оцинкованная	35
Алюминий листовой	50
Битум и краска	20-25
Битум и сталь оцинкованная	20-25
Краска и металл оцинкованный	30-35
в) Цвета фасадов и стен зданий	
Белый (кремний, мрамор, гипс, бетон)	55
Светлый (штукатурка, силикатный кирпич, плитки)	40
Средне-светлый (неокрашенный бетон, светлое дерево и т.д.)	34
Темный (потемневшее дерево, красный кирпич и т.д.)	27
г) Участки жилой застройки	
Заасфальтированные поверхности	30
Участки с открытым грунтом	10
Площадки, дорожки с гравийным покрытием	10
Газоны, цветники	20
Кустарники - деревья	10-20

Таблица 5

**Повторяемость безоблачной погоды по АМСГ Пермь за период
2002-2006 гг. (интервал 60 мин.)**

Срок	Повторяемость Б/О погоды, количество сроков		
	Июнь	Июль	Август
00	112	145	118
01	116	153	101
02	131	156	90
03	129	144	90
04	106	130	82
05	72	111	77
06	47	78	49
07	27	47	31
08	18	25	22
09	20	13	15
10	15	16	17
11	14	11	16
12	16	9	19
13	26	15	27
14	42	35	39
15	47	54	56
16	72	85	52
17	74	113	76
18	99	110	113
19	97	99	98
20	92	109	124
21	99	113	126
22	124	159	144
23	123	142	128
Итого	1718	2072	1710
Итого (период светового дня)	1052	1233	1152

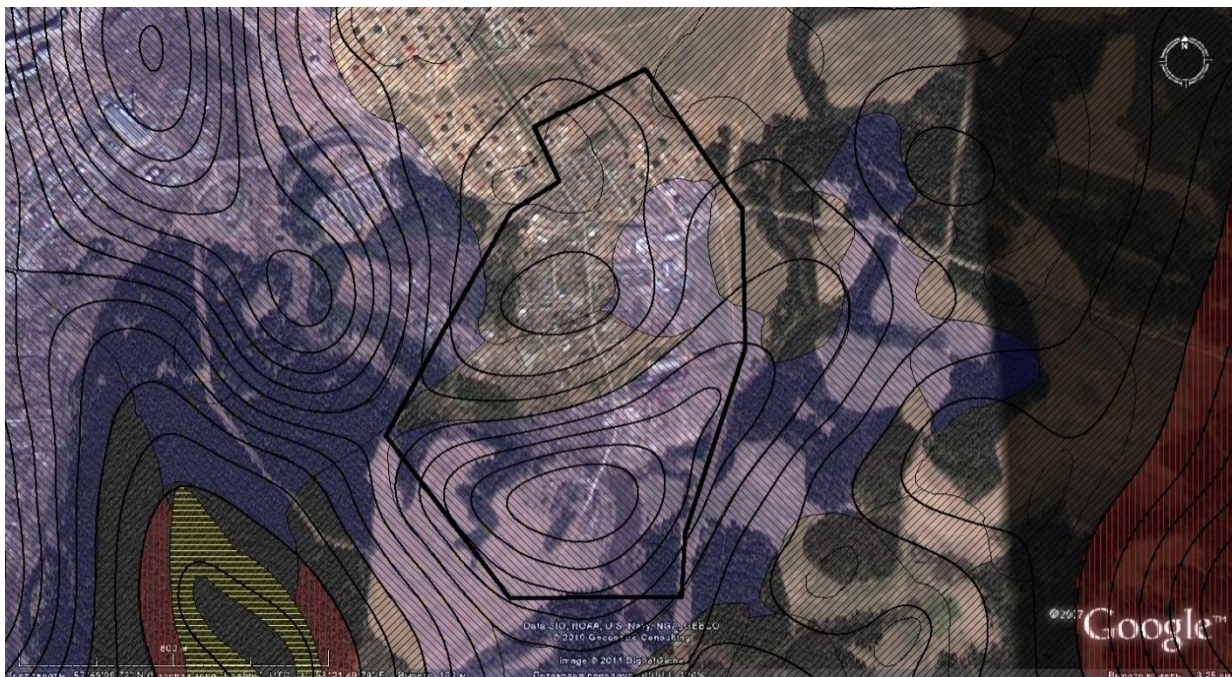


Рис. 1. Коэффициенты изменения скорости ветра при южном воздушном потоке (2-4 м/с) для МС Пермь

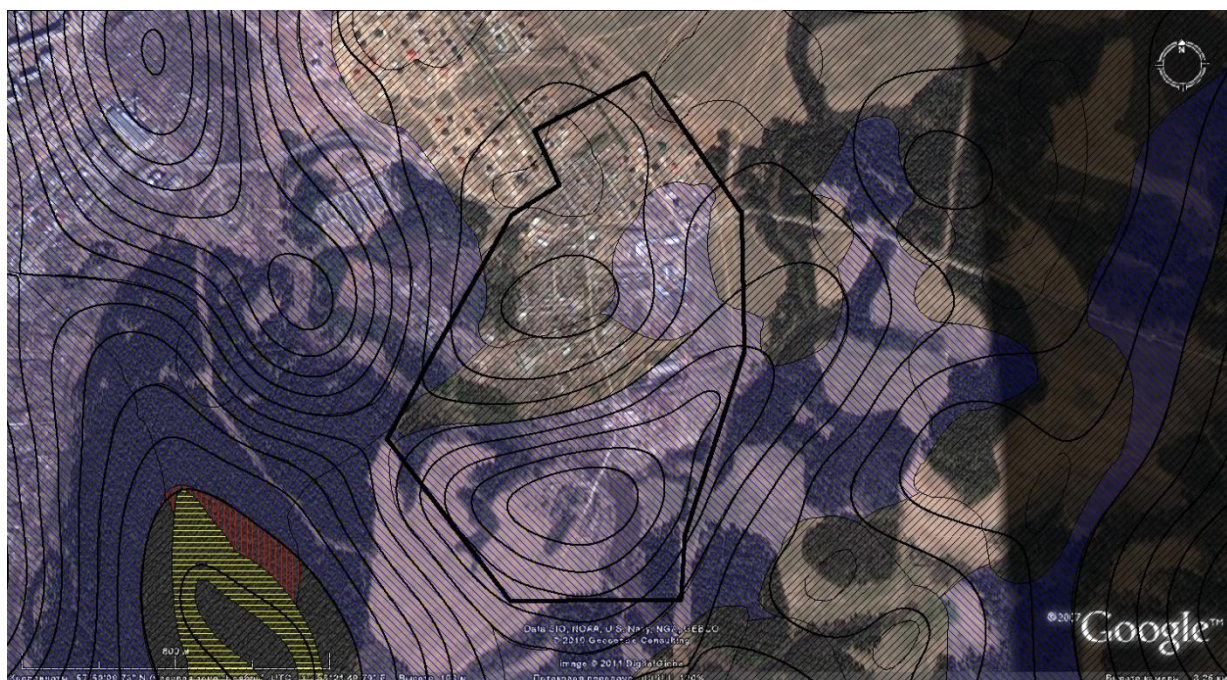


Рис. 2. Коэффициенты изменения скорости ветра при южном воздушном потоке (5-8 м/с) для МС Пермь

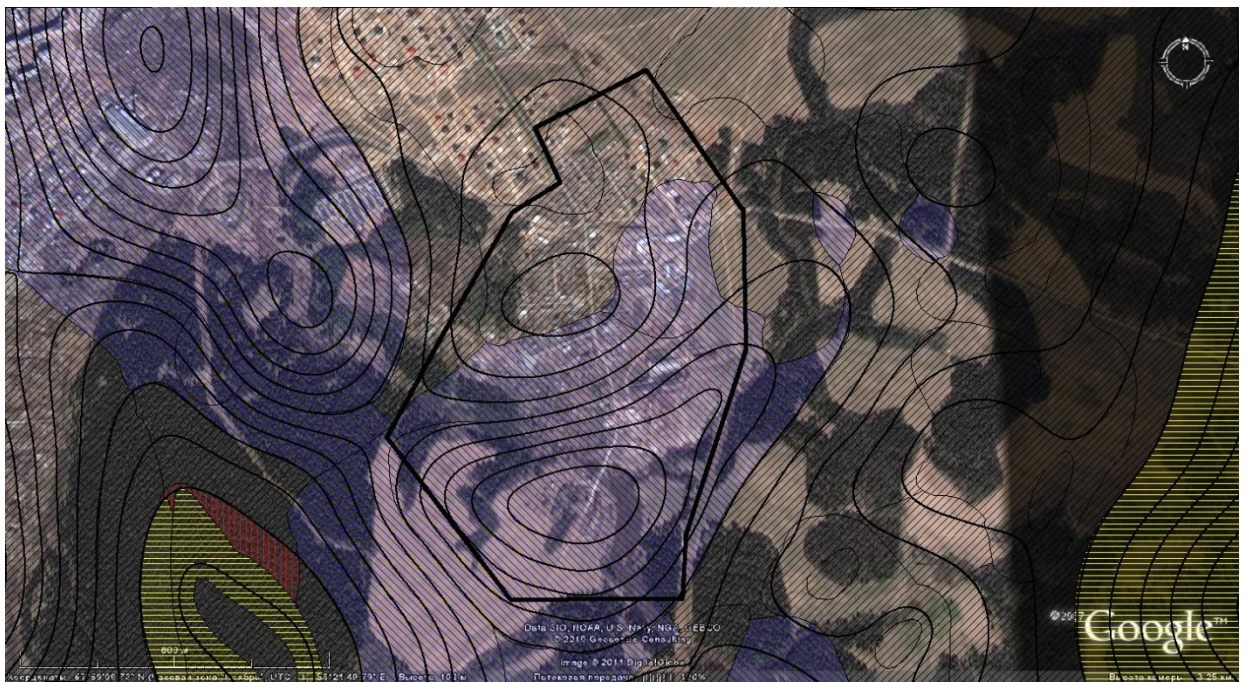


Рис. 3. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (2-4 м/с) для МС Пермь

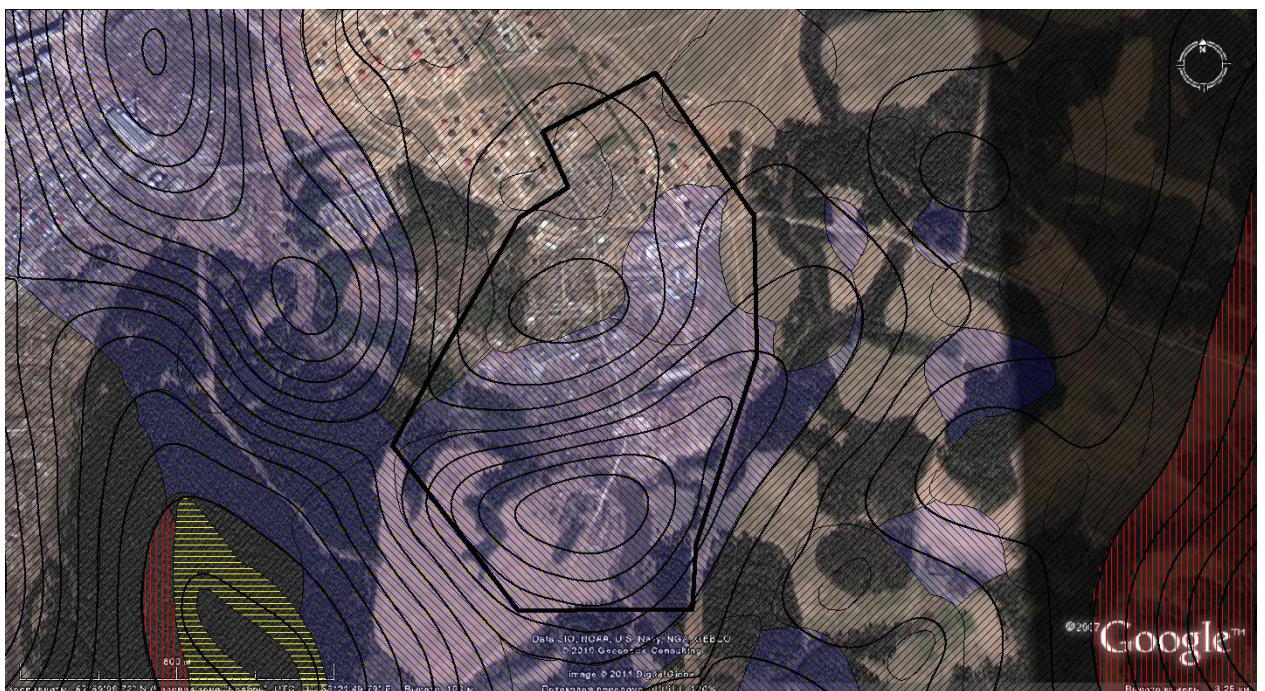


Рис. 4. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (5-8 м/с) для МС Пермь

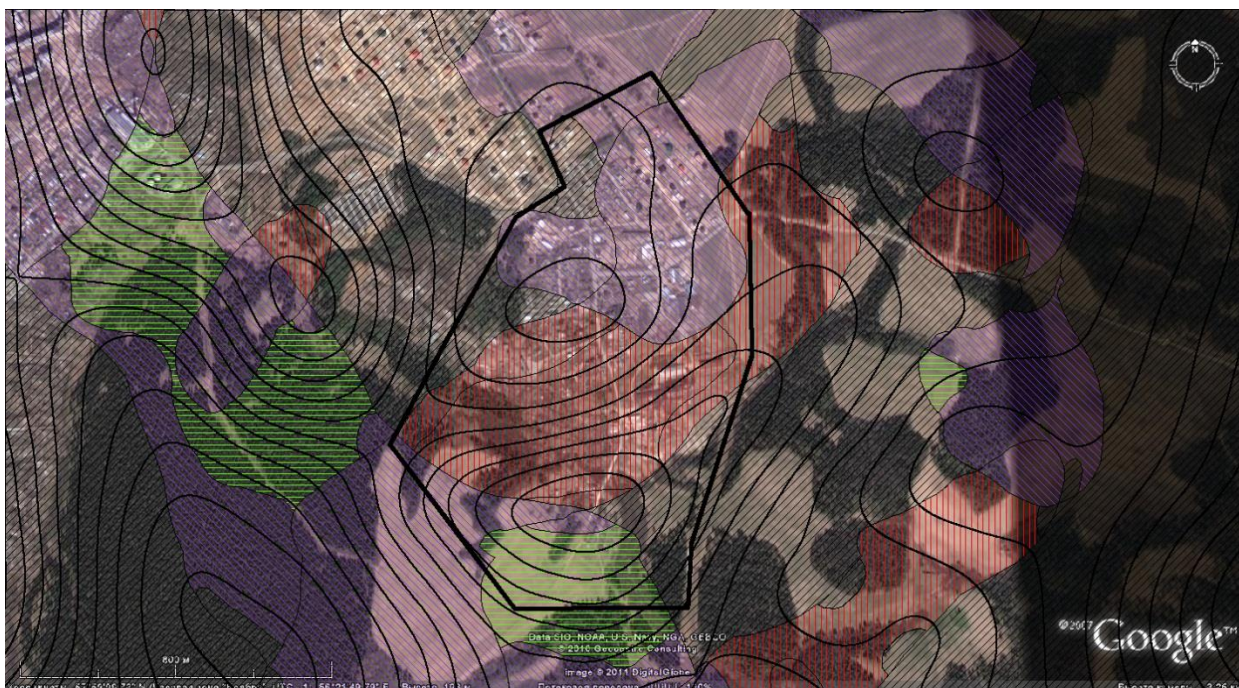


Рис. 5. Карта изменения прямой солнечной радиации (в процентах от радиации на ровном месте) для МС Пермь

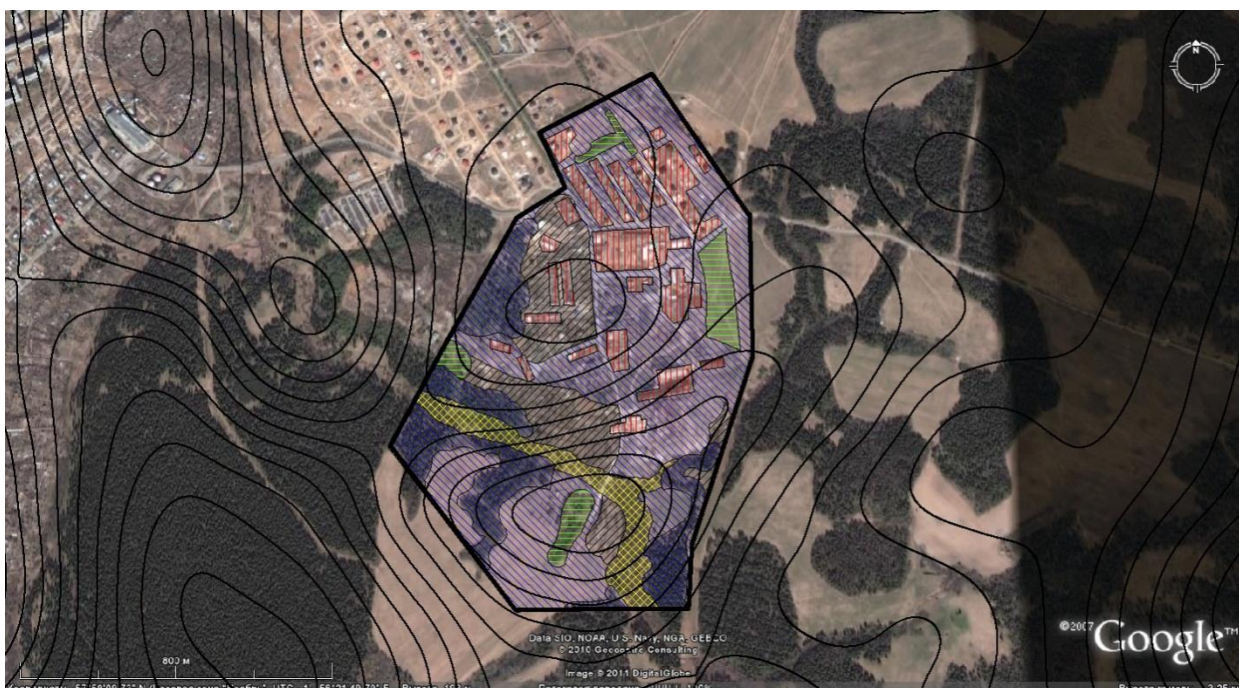


Рис. 6. Карта изменчивости альбеда местности для МС Пермь

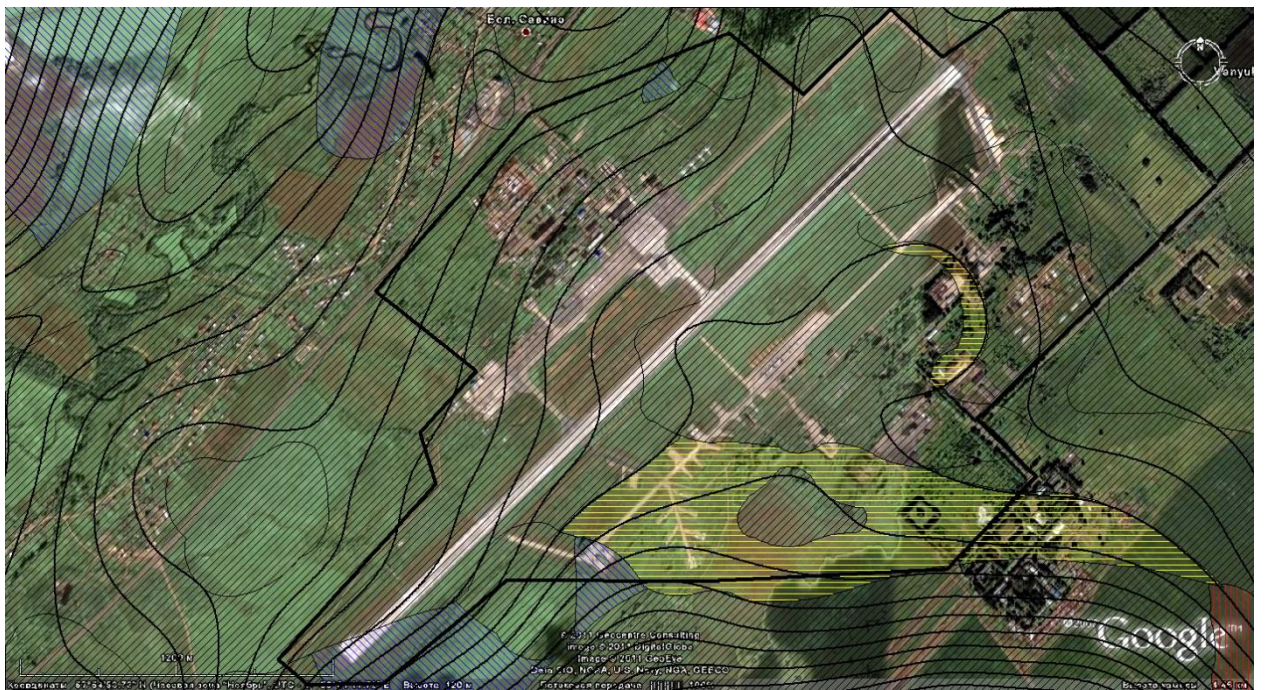


Рис. 7. Коэффициенты изменения скорости ветра при южном воздушном потоке (2-4 м/с) для АМСГ Пермь

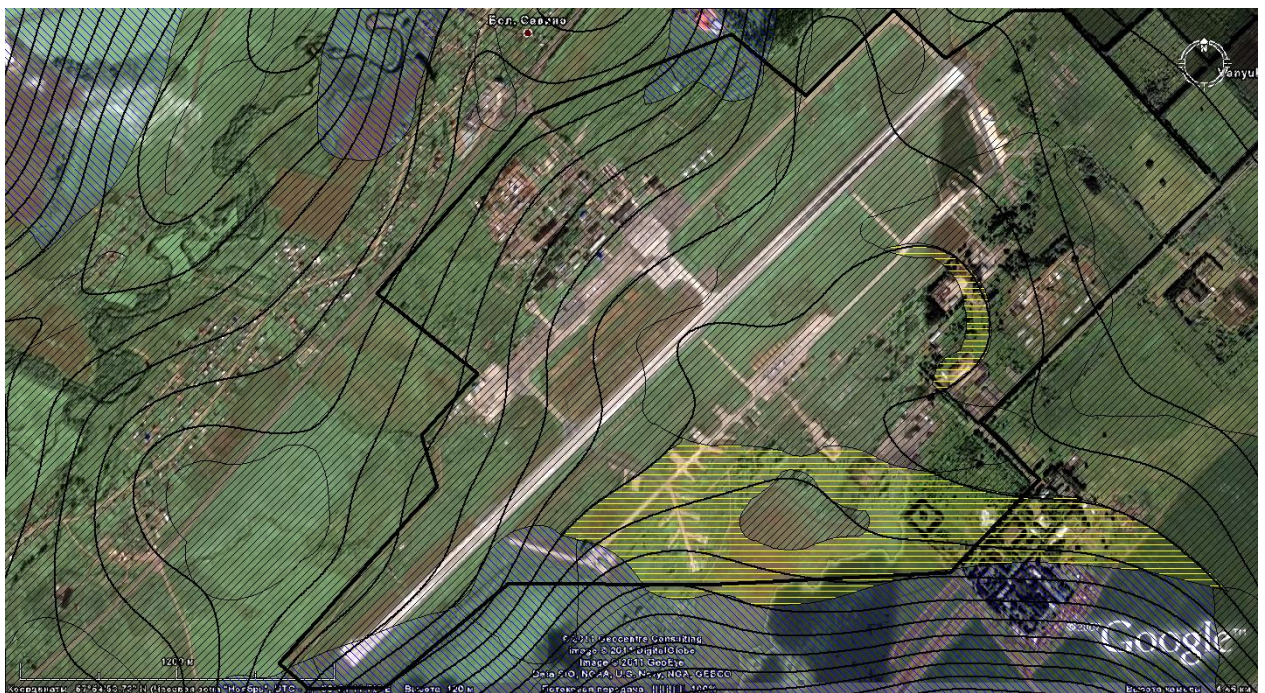


Рис. 8. Коэффициенты изменения скорости ветра при южном воздушном потоке (5-8 м/с) для АМСГ Пермь



Рис. 9. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (2-4 м/с) для АМСГ Пермь

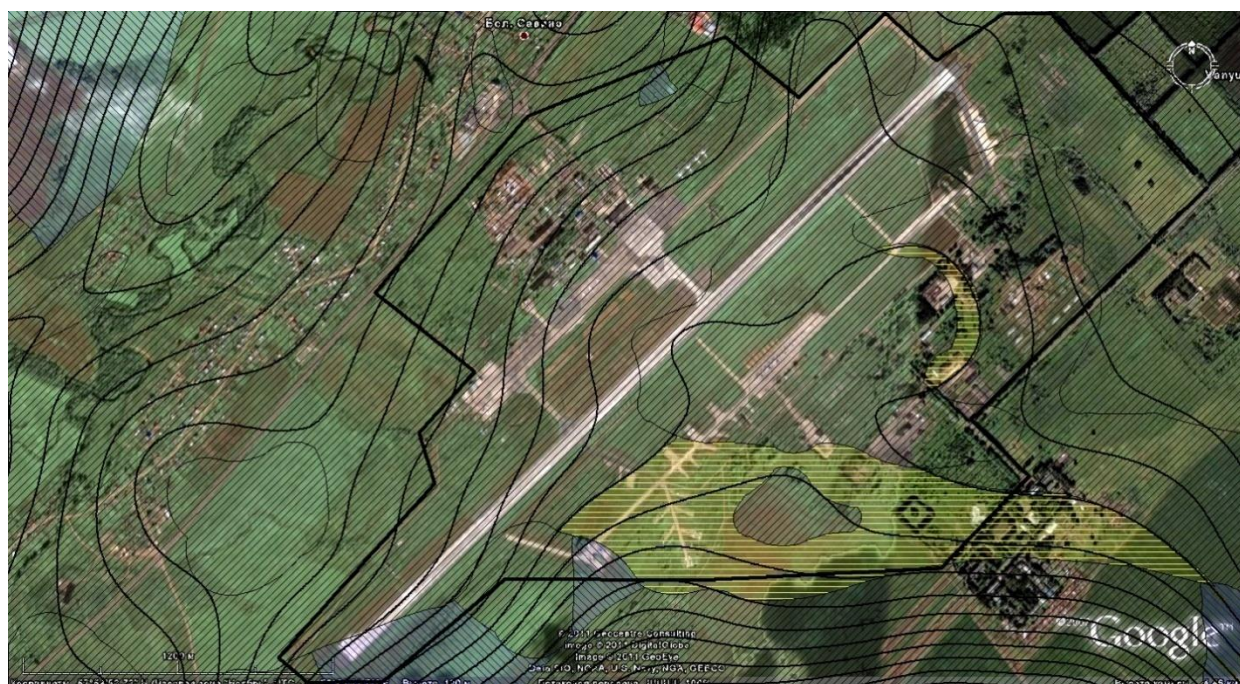


Рис. 10. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (5-8 м/с) для АМСГ Пермь

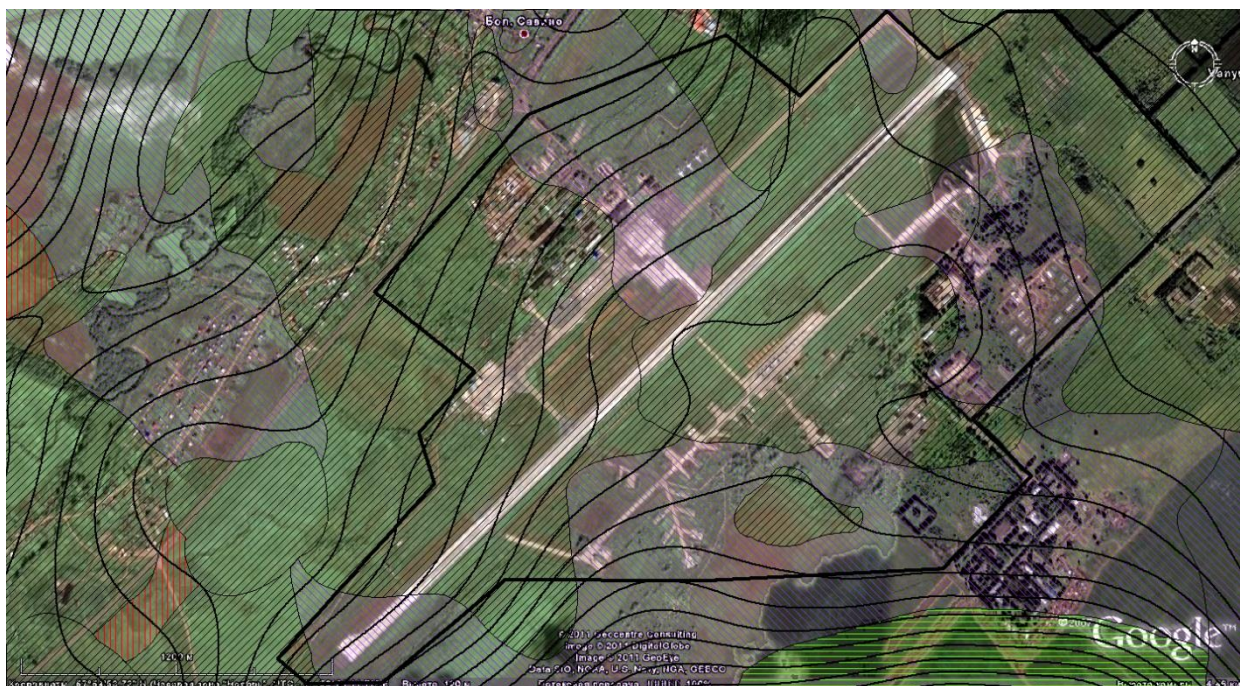


Рис. 11. Карта изменения прямой солнечной радиации (в процентах от радиации на ровном месте) для АМСГ Пермь

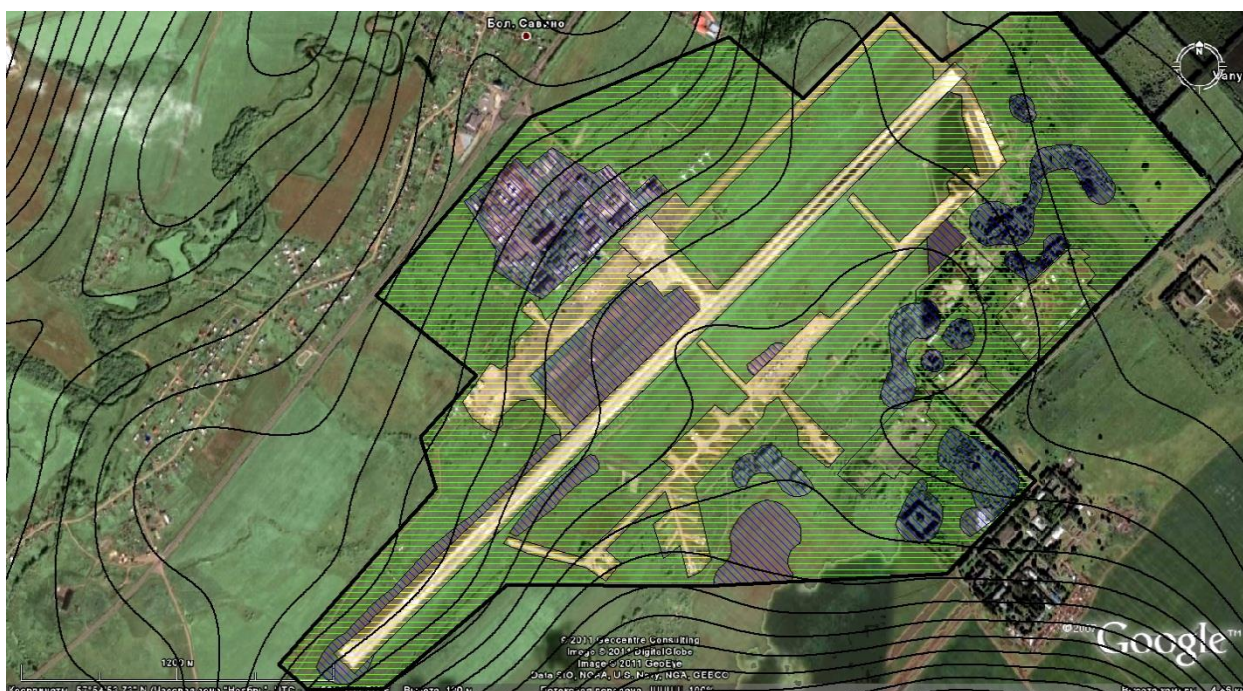


Рис. 12. Карта изменчивости альbedo местности для АМСГ Пермь

ПРИЛОЖЕНИЕ 3



Рис. 1. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (2-4м/с) для участка р. Данилиха

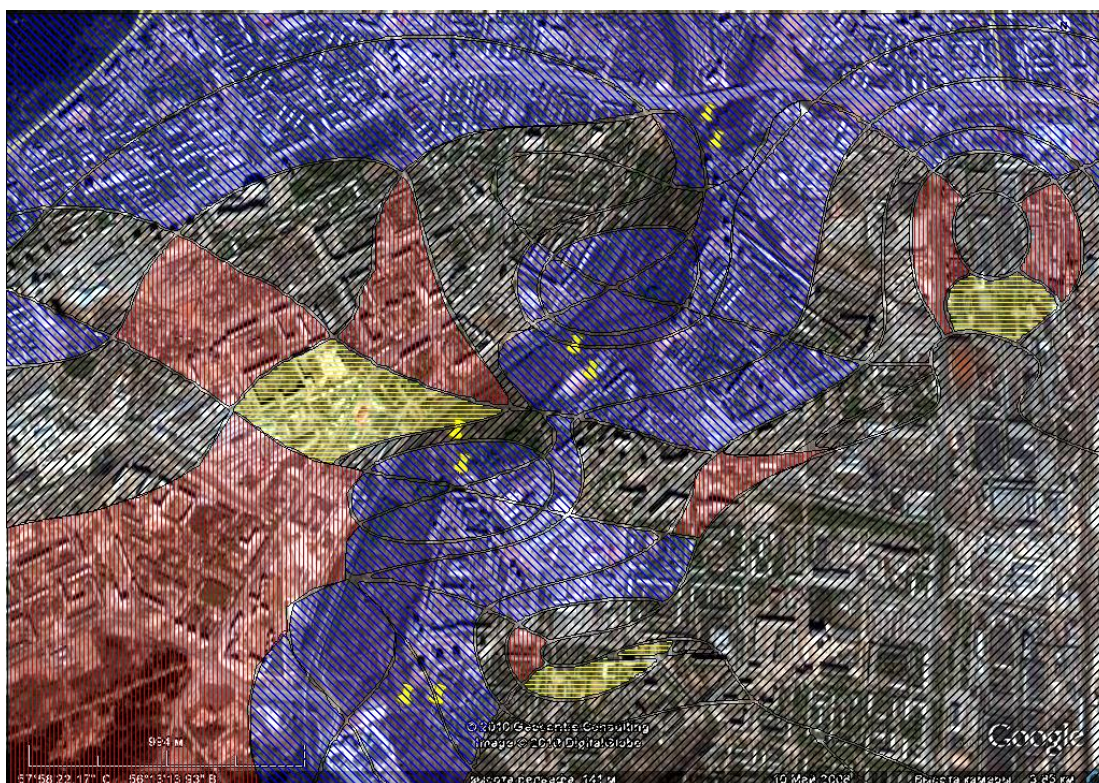


Рис. 2. Коэффициенты изменения скорости ветра при северном воздушном потоке (4-4м/с) для участка р. Данилиха



Рис. 3. Коэффициенты изменения скорости ветра при западном воздушном потоке (5-8м/с) для участка р. Данилиха

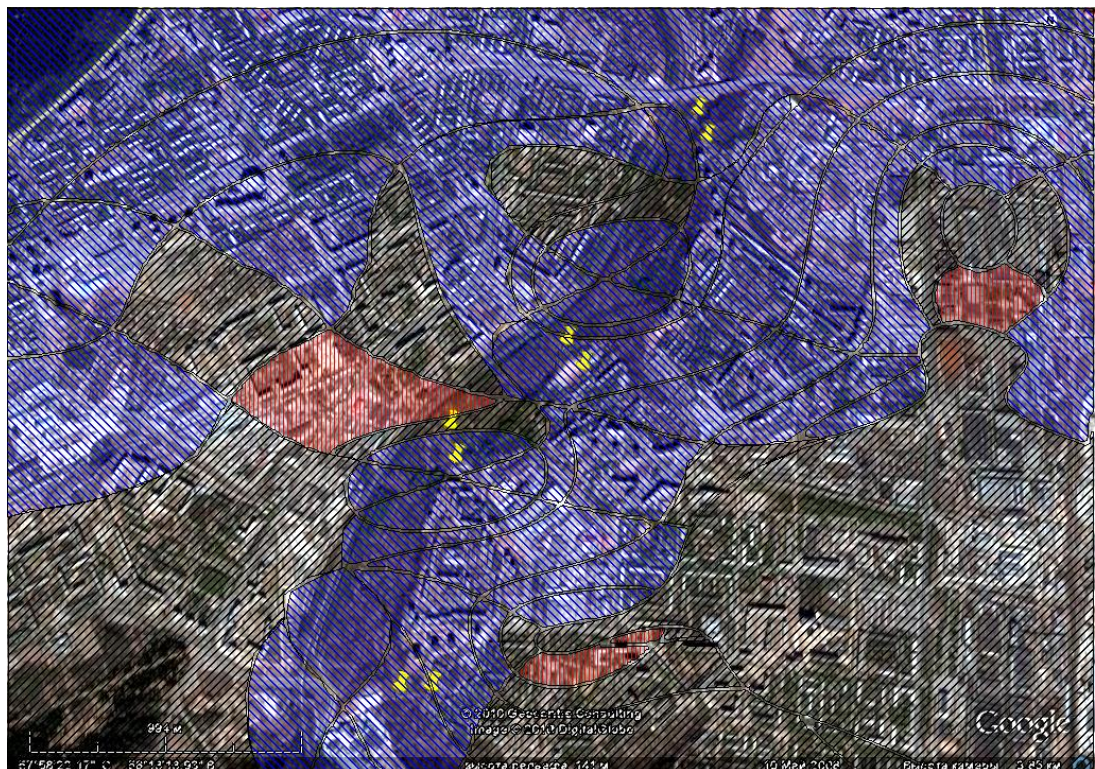


Рис. 4. Коэффициенты изменения скорости ветра при южном воздушном потоке (5-8м/с) для участка р. Данилиха

Рис. 5. Местоположение профилей по территории р. Данилиха