



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра Экспериментальной физики атмосферы

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему «Использование геоинформационной технологии для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций общего назначения»

Исполнитель

Михайлова Виктория Александровна

(фамилия, имя, отчество)

Руководитель

кандидат физико-математических наук, доцент

(ученая степень, ученое звание)

Сероухова Ольга Станиславовна

(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»

Заведующий кафедрой

(подпись)

доктор физико-математических наук, профессор

(ученая степень, ученое звание)

Кузнецов Анатолий Дмитриевич

(фамилия, имя, отчество)

«29» мая 2017 г.

Санкт–Петербург

2017

СОДЕРЖАНИЕ

	Сокращения	4
	Введение	7
1	Метеорологическая площадка и требования к ней	11
1.1	Виды метеорологической информации	11
1.2	Основные требования к первичной метеорологической информации	12
1.3	Системы получения первичной метеорологической информации	15
1.4	Устройство метеорологической площадки и требования к ней	20
1.4.1	Общие требования к расположению метеорологической площадки	20
1.4.2	Устройство метеорологической площадки	21
1.4.3	Требования к содержанию метеорологической площадки	23
2	Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС–4	24
2.1	Назначение метеорологической станции КРАМС-4	24
2.2	Устройство станции КРАМС-4	24
2.3	Измерительные блоки, входящие в состав КРАМС-4 и их технические характеристики	26
3	Использование геоинформационной технологии для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций общего назначения	39
3.1	Концепция ГИС	39
3.2	ГИС IDRISI	43
3.3	Описание территории и изучение базы данных	45
3.3.1	Описание территории	45
3.3.2	Изучение базы данных	48

3.4	Построение карт участков, удовлетворяющих критериям расположения автоматических метеостанций общего назначения	49
3.4.1	Определение участка, характерного для данной местности	49
3.4.2	Определение преобладающих форм рельефа, наблюдающихся в данном районе	51
3.4.3	Определение района с удалением от источников влаги не менее 100 м	53
3.4.4	Определение удалений от значительных по протяженности препятствий	55
3.4.5	Определение удалений от невысоких отдельных препятствий	58
3.4.6	Учет уклона местности	60
3.5	Построение карты участков, подходящих для установки автоматических метеостанций общего назначения	61
3.6	Представление итоговой информации	62
	Заключение	66
	Список использованной литературы	67

СОКРАЩЕНИЯ

Росгидромет	-	Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
ГИС	-	Географические информационные системы
ИСЗ	-	Искусственные спутники Земли
УГМС	-	Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды
КН-01	-	Код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений на сети станций Росгидромета
ПЭВМ	-	Персональная электронно-вычислительная машина
RS232/422/485	-	Recommended Standard – физический уровень для асинхронного (UART) интерфейса
HMP45D	-	Датчик температуры и влажности
РТВ200	-	Датчик давления
ИПВ-01	-	Измеритель параметров ветра
LT31	-	Измерители метеорологической дальности
FD12/FD12P	-	видимости
ФИ-3	-	
LTT111	-	Излучатель и приемник измерителя оптической дальности видимости LT31
LTR111	-	
FDR12	-	Излучатель и приемник измерителя оптической дальности видимости FD12/FD12P
ОБ	-	Отражатель ближний
ОД	-	Отражатель дальний
МОД (MOR)	-	Метеорологическая оптическая дальность

		Meteorological Optical Range
МДВ	-	Метеорологическая дальность видимости
LM11	-	Блок, определяющий яркость фона
СКНП	-	Световой коэффициент направленного пропускания
ДВО	-	Измерители высоты облаков
CL31		
КРАМС-4	-	Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция
СНГ	-	Содружество Независимых Государств
METAR	-	Регулярное сообщение о погоде для авиации (кодированная форма)
SPECI	-	Выборочное специальное сообщение о погоде для авиации (кодированная форма)
MET REPORT	-	Регулярная сводка фактической погоды в открытом тексте
ATIS	-	Automatic Terminal Information Service – служба автоматической передачи информации в районе аэродрома
DMX55	-	Модемы
ZYXEL		
V3365/U336R		
БК-16М	-	Блок коммутации
ВПП	-	Взлетно-посадочная полоса
LIDAR	-	Light Identification Detection and Ranging технология получения и обработки информации об удалённых объектах с помощью активных оптических систем
DD50	-	Цифровой дисплей
БИ	-	Блок индикации

RG13/RG13H	-	Осадкомер
ПК	-	Персональный компьютер
БС	-	Блок сопряжения
AVHRR	-	Advanced very-high-resolution radiometer
NOOA	-	National Oceanic and Atmospheric Administration
TM	-	Thematic Mapper
MSS	-	Multispectral Scanner

ВВЕДЕНИЕ

Погода и климат — вечные природные спутники всего живого на Земле, оказавшие огромное влияние на развитие человеческого общества с периода его становления до настоящего времени. Академик А. Я. Купфер — основатель метеорологической службы России — в 1865 г. писал: «Наука метеорология имеет чрезвычайно широкое поле для исследования, она рассматривает всю земную атмосферу, которая со всех сторон прикасается к поверхности Земли и которая оказывает огромное влияние на все элементы, человеческой жизни» [1].

В современном мире крайне серьезное значение придается метеорологической информации и прогнозам. Данные метеорологических исследований используются в сельском хозяйстве, авиации, судоходстве, градостроительстве. Аэрологи изучают состояние атмосферы на высотах, морские метеорологи обеспечивают метеорологической информацией морской транспорт, авиационные метеорологи - воздушный транспорт. А в последние десятилетия большое развитие и широкое распространение получила спутниковая метеорология.

Неблагоприятное воздействие на выше перечисленные отрасли могут оказывать такие метеорологические явления, как: облачность, дальность видимости, туман, грозы (в авиационных прогнозах); направление и скорость ветра, волнение на море (в морских прогнозах); количество осадков, увлажнение почвы, заморозки (в сельскохозяйственных прогнозах) и т.д.

Полная характеристика погоды дается на основании знаний метеорологических величин и явлений погоды. Однако фактически наблюдаемые и инструментальные значения метеорологических величин являются дискретными, т.е. отнесенными к определенной точке и моменту времени. Поэтому система изначального получения метеорологических данных является основой функционирования всех остальных систем

Гидрометслужбы, которые обеспечивают полезными сведениями о погоде многочисленных потребителей с разными запросами.

Это приводит к тому, что метеорологические наблюдения становятся регулярными, следовательно, им необходима сеть метеорологических станций, которая будет равномерно покрывать обширные участки земной поверхности.

Также важно расположение метеостанций в малонаселенных труднодоступных местах.

В настоящее время существуют автоматические станции, которые очень эффективно использовать в труднодоступных и малоосвоенных районах, например на льдах Арктики; наблюдения их автоматически передаются по радио.

Автоматическая обработка результатов наблюдений на метеостанциях увеличивает надежность информации о метеорологических величинах благодаря применению новых технологий и объективности результатов наблюдений и обработки, значительно сокращающих ошибки персонала. Это позволяет резко повысить качество метеорологических данных за счет максимального сокращения участия персонала в процессе их получения и передачи. При этом обеспечивается сохранение всего объема сообщений, предусмотренных программой наблюдений конкретной станции. Автоматические станции обеспечивают тщательный контроль вводимых данных, что позволяет исправлять ошибки наблюдений в момент их возникновения и исключает отбраковку данных на стадии их дальнейшего использования. Преимущества автоматической метеостанции заключаются в том, что она:

- сочетает надежность в работе всех компонентов системы и достоверность данных;
- не нарушает традиционных принципов получения данных и позволяет эффективно использовать опыт наблюдателей;

- позволяет получать информацию в труднодоступных и малоосвоенных районах;
- уменьшает затраты на выполнение обработки данных;
- сокращает сроки получения режимной информации;
- пользователи имеют доступные архивы.

В будущем автоматические и полуавтоматические метеорологические станции должны получить широкое применение.

Необходимо отметить, что далеко не везде возможно строительство автоматической метеостанции, так как к ее расположению выдвигаются определенные требования, учету которых и посвящена данная работа.

При наличии соответствующей базы данных с помощью ГИС можно заранее определить участки, на которых возможно расположение автоматической метеостанции.

Геоинформационные системы (ГИС) – это современная компьютерная технология для картирования и анализа объектов реального мира, а также событий, происходящих на нашей планете. Такая технология объединяет традиционные операции работы с базами данных, такими как запрос и статистический анализ, с преимуществами полноценной визуализации и географического (пространственного) анализа, которые предоставляет карта.

Создание карт и географический анализ не являются чем-то абсолютно новым. Однако технология ГИС предоставляет новый, более современный, эффективный, удобный и быстрый подход к анализу проблем и решению задач, стоящих перед человечеством в целом, и конкретной организацией или группой людей в частности. Она автоматизирует процедуру анализа и прогноза.

В бакалаврской работе рассматривается структура и возможность применения ГИС для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций общего назначения с учетом всех требований путем создания базы данных для исследуемой территории, построения карт, нанесения и пространственного анализа представленных результатов.

Актуальность темы бакалаврской работы обусловлена потребностью в увеличении количества метеостанций, т.к. чем больше будет метеостанций, тем точнее станет прогноз погоды. Увеличение станций позволит более точно следить за атмосферой и лучше понимать процессы, которые происходят в атмосфере. Использование ГИС IDRISI позволяет при наличии соответствующей базы данных в оптимальные сроки и с минимальными затратами труда и финансовых средств существенно упростить поиск потенциально возможных мест расположения автоматических метеостанций с соблюдением большинства требований к ним.

Цель работы – использование геоинформационной технологии для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций общего назначения.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- 1) С помощью программы ГИС IDRISI создана и изучена выбранная база данных района Уэстборо, штат Массачусетс, США.
- 2) Построены карты участков, удовлетворяющих критериям расположения автоматической метеостанции.
- 3) Найдены участки потенциальных мест расположения автоматических метеостанций, удовлетворяющие всем требованиям к расположению автоматических метеостанций.
- 4) Представлена итоговая информация в трехмерном виде.
- 5) Проведен анализ полученных результатов.

Бакалаврская работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка используемых источников, содержит 31 рисунок и 8 таблиц.

1. Метеорологическая площадка и требования к ней

1.1 Виды метеорологической информации

Вся работа по синоптическому анализу и прогнозу атмосферных процессов и погоды производится на основе сведений о параметрах атмосферы, которые получают в основном в результате метеорологических наблюдений. Совокупность таких сведений представляет собой первичную метеорологическую информацию [2].

Первичная метеорологическая информация в дальнейшем подлежит трансформации и обработке, т. е. приведению ее к виду, удобному для использования в службе погоды. Результаты такой обработки тоже представляют собой метеорологическую информацию, которую иногда называют вторичной. Примером метеорологической информации этого вида могут служить синоптические карты, вертикальные разрезы атмосферы, анализы и прогнозы погоды на различные сроки, климатические данные и прочее.

Эффективность использования первичной метеорологической информации в службе погоды определяется ее точностью, полнотой и своевременностью получения потребителем. Поэтому синоптик должен иметь полное представление о содержании первичной метеорологической информации, возможностях ее получения современными техническими средствами и требованиях, к ней предъявляемых.

Состояние атмосферы описывается комплексом параметров. В этот комплекс в настоящее время входят:

- атмосферное давление;
- температура и влажность воздуха (в качестве внеатмосферного параметра часто включается температура подстилающей поверхности);
- скорость и направление ветра;
- системы конденсации водяного пара (туманы, облачность, осадки);

- атмосферные явления (грозы, метели, пыльные бури и т. п.);
- вертикальные движения воздуха.

Все эти параметры атмосферы определяются или инструментально, или визуально, и являются первичной метеорологической информацией. Из всего комплекса метеорологических величин, определяемых непосредственно в результате метеорологических наблюдений, исключение представляет скорость вертикальных движений воздуха, которая приближенно рассчитывается по формулам. В некоторых случаях в состав первичной метеорологической информации могут включаться сведения о загрязненности атмосферы, ее электрических параметрах, химическом составе и т. д.

Непосредственная значимость компонент рассматриваемого комплекса метеорологических величин для различных потребителей неодинакова. Однако это не может служить основанием для исключения какой-либо метеорологической величины из содержания первичной метеорологической информации по ряду причин. Во-первых, содержание первичной метеорологической информации должно давать возможность обеспечения любого потенциального потребителя. Во-вторых, некоторые параметры атмосферы, непосредственно не интересующие потребителя, используются для повышения качества синоптического анализа и разработки прогноза тех характеристик, которые этому потребителю нужны.

1.2 Основные требования к первичной метеорологической информации

Основные требования к первичной метеорологической информации определяются задачами, стоящими перед службой погоды. Возможность решения большинства таких задач связана с масштабами погодообразующих атмосферных процессов и статистической структурой метеорологических полей, что определяет пространственную и временную дискретность получения метеорологической информации. То есть плотность размещения

метеорологических станций, частоту наблюдений на них и размеры территории, с которой нужно иметь первичную метеорологическую информацию. К примеру, для разработки прогноза погоды на 24—36 ч по пункту или по небольшому району необходимо иметь первичную метеорологическую информацию с территории, примерно 3000X3000 км, на которой пункты измерений находятся друг от друга на расстоянии 150—200 км и сообщают в прогностическое подразделение сведения о погоде с интервалом 4—6 ч;

- с требованиями экономики, поскольку затраты на создание и эксплуатацию измерительной сети должны быть меньше экономического эффекта, получаемого от использования первичной метеоинформации от этой сети во всех видах деятельности службы погоды;
- с техническими возможностями получения первичной метеорологической информации того или иного вида, так как некоторые системы получения первичной метеоинформации (метеорологические радиолокационные станции, метеорологические ИСЗ) не могут обеспечить получение всего комплекса атмосферных параметров.

Исходя из особенностей погодообразующих атмосферных процессов, существующих способов их анализа, методов прогноза погоды, требований практики метеообеспечения различных отраслей народного хозяйства, можно сформулировать следующие основные требования к первичной метеорологической информации: комплексность, трехмерность, глобальность, регулярность, оперативность и синхронность.

Комплексность, как уже указывалось, означает требование включения в состав первичной метеорологической информации результатов наблюдений за всеми метеорологическими величинами и явлениями. Это требование должно выполняться для каждого пункта измерений и момента времени, так как неполная первичная метеорологическая информация, как в некоторых

пунктах, так и в некоторые моменты времени осложняет анализ развития погодообразующих атмосферных процессов и снижает точность прогнозов погоды. Существование связей между полями различных метеорологических величин и одной и той же метеорологической величины во времени и пространстве при комплексности первичной метеорологической информации позволяет при синоптическом анализе исключать грубые ошибки, возникающие при измерениях; передаче информации по линиям связи, при нанеске данных на синоптические карты.

Трехмерность первичной метеорологической информации, представляет собой требование освещения результатами измерений метеорологических величин всего пограничного слоя и свободной атмосферы до предельно возможных высот. Это необходимо потому, что атмосферные процессы, формирующие погоду вблизи подстилающей поверхности, развиваются в большом слое атмосферы, включающем тропосферу и стратосферу. Кроме того, ряд потребителей метеорологической информации (авиация, ракетная техника, воздухоплавание) нуждаются в сведениях о текущих и ожидаемых метеорологических условиях в свободной атмосфере, получить которые без трехмерности первичной метеоинформации невозможно.

Требование глобальности не означает, что во всех случаях и во всех оперативных подразделениях Госкомгидромета СССР необходимо иметь первичную метеорологическую информацию с территории всего земного шара или полушария. Оно отражает в первую очередь тот факт, что размеры территории, для которой нужно иметь эту информацию, должны существенно превышать площадь района, для которого разрабатывается прогноз. Это связано с необходимостью учета взаимосвязей между погодообразующими процессами в сравнительно удаленных от района действия прогноза территориях и высокой скоростью перемещения зон с различными погодными условиями. Так, например, зона интенсивных осадков, находящаяся в исходный момент у западного побережья Европы, за

сутки может переместиться на Белоруссию и Украину, резко изменив существовавший здесь ранее режим погоды.

Регулярность первичной метеорологической информации, т. е. требование производства метеорологических наблюдений в установленные сроки без их пропусков, обеспечивает своевременное обновление метеорологической информации, необходимой потребителям, позволяет при анализе и прогнозе развития синоптических процессов и погоды в полной мере учитывать их временную последовательность, вести непрерывное (с перекрытием) прогнозирование погоды, проводить уточнение прогнозов.

Под оперативностью понимается требование поступления первичной метеорологической информации к потребителю в минимальные сроки с момента производства наблюдения. Несоблюдение этого требования в значительной мере обесценивает информацию, особенно если она используется в целях краткосрочного прогноза погоды.

Синхронность, т. е. требование проведения метеорологических наблюдений в одно и то же время на всей измерительной сети, облегчает анализ пространственной структуры полей метеорологических величин; существенно уменьшает время сбора первичной метеоинформации с пунктов измерений и соответственно время ее доведения в виде сводок результатов наблюдений до потребителей.

1.3 Системы получения первичной метеорологической информации

Для получения сведений о состоянии атмосферы во многих государствах и в международном масштабе функционируют системы получения метеорологической информации. Место каждой такой системы в службе погоды определяется ее основными характеристиками:

- соответствие требованиям, сформулированным в п. 1.2;
- объем и виды информации, которые она может предоставить потребителям;

- относительная ценность метеорологической информации для решения различных народно-хозяйственных задач.

В настоящее время первичная метеорологическая информация получается с помощью следующих систем:

- сеть наземных метеорологических и аэрологических станций;
- сеть судовых наблюдений, якорных и дрейфующих гидрометеорологических станций (буев);
- сеть метеорологических радиолокационных станций;
- космическая метеорологическая система;
- система авиационной разведки погоды.

Кроме того, в состав первичной метеорологической информации эпизодически могут включаться данные, получаемые с помощью систем ракетного и аэростатного зондирования атмосферы.

Метеорологические наблюдения проводит большое число станций. Те из них, которые регулярно представляют данные, используемые в службе погоды, называются синоптическими станциями. Значительная часть этих станций (около 8 тыс.) входит в международную синоптическую сеть. Данные остальных синоптических станций используются при анализе атмосферных процессов, погодных условий и при прогнозе погоды на ограниченных территориях.

Синоптические станции расположены не только на континентальной части земного шара, но и на океанических акваториях. Часть из них находится на островах, другая часть представляет собой суда погоды.

Синоптические станции проводят наблюдения за температурой и влажностью воздуха, температурой почвы (воды), атмосферным давлением, скоростью и направлением ветра, дальностью горизонтальной видимости, формой, количеством облаков и высотой их нижней границы, видом, количеством и интенсивностью осадков, атмосферными явлениями.

Наблюдения на синоптических станциях, входящих в международную сеть, проводятся синхронно в 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 ч гринвичского

среднего времени. Сроки 00, 06, 12 и 18 ч называются основными синоптическими сроками. Промежуточные сроки являются дополнительными. Наблюдения за атмосферными явлениями проводятся непрерывно.

Поскольку служба погоды ведет непрерывную круглосуточную работу и имеет постоянную связь с хозяйственными организациями и государственными учреждениями, то на синоптические станции возложена задача информации о внеатмосферных опасных явлениях, относящихся к категории стихийных бедствий, таких как наводнения, цунами, селевые потоки, снежные лавины и обвалы.

Требование трехмерности к первичной метеоинформации обеспечивается производством наблюдений в свободной атмосфере. Основным поставщиком этой информации является сеть аэрологических станций. Аэрологические станции проводят вертикальное зондирование атмосферы с помощью дистанционных средств — радиозондов, что позволяет получать систематические массовые данные о давлении, температуре, влажности, скорости и направлении ветра до высот 15—20 км. Радиозондирование атмосферы проводится реже, чем наблюдения на наземной сети синоптических станций. Это оправдано меньшей временной изменчивостью метеорологических величин в свободной атмосфере по сравнению с приземным слоем. Основными сроками наблюдений на сети аэрологических станций являются 00 и 12 ч гринвичского среднего времени, а дополнительными — 06 и 18 ч.

Учитывая большое влияние на результаты наземных наблюдений местных условий (рельеф, наличие вблизи станции водоемов, особенности растительного покрова и т. д.), основным требованием к размещению синоптической станции является ее репрезентативность, под которой понимается характерность данных наблюдений этой станции для окружающей ее территории. Кроме того, станция должна иметь стандартные, прошедшие государственную проверку приборы, квалифицированный

персонал, средства связи, обеспечивающие оперативность передачи результатов наблюдений в установленные адреса.

Основным источником получения первичной метеорологической информации с акваторий морей и океанов являются островные синоптические станции и суда погоды. Они проводят метеорологические наблюдения по той же программе и в те же сроки, что и синоптические станции, расположенные в континентальной части земного шара. Следует иметь в виду, что результаты метеорологических наблюдений на островных станциях в некоторой мере, причем в разной степени для различных станций, искажаются влиянием суши и могут быть недостаточно репрезентативны для оценки состояния атмосферы в прилегающей океанической акватории.

В настоящее время ведутся интенсивные работы по созданию и внедрению автоматических и полуавтоматических синоптических станций, что открывает большие возможности для получения метеорологической информации из районов, где создание стационарных синоптических станций затруднено (горные страны, пустыни, малонаселенные территории) или экономически нецелесообразно.

Каждой синоптической и аэрологической станции присваивается индекс (номер), по которому ее можно отличать от других станций и находить на бланке карты. Вся территория земного шара разбита на шесть больших районов, каждый из них, в свою очередь, разбит на более мелкие районы, имеющие двухзначные номера.

Таким образом, каждая синоптическая и аэрологическая станция имеет пятизначный индекс, две первых цифры которого указывают на номер района, а остальные три — на номер станции в пределах района. Так как в каждом районе находится лишь несколько десятков станций, а нумерация станций идет от 000 до 999, переходя из одного квадрата в соседний и повторяясь только после окончания каждой тысячи, то в соседних районах одинаковые трехзначные номера не встречаются. Поэтому работая с

синоптическими картами, предназначенными для прогнозов на сроки 24—36 ч, можно оперировать только последними тремя цифрами индекса.

Наземная сеть синоптических и аэрологических станций (включая островные станции и суда погоды) является системой получения наиболее полной, регулярной и точной первичной метеорологической информации. Поэтому в настоящее время она является основной.

Недостатком данной системы является пространственная дискретность размещения станций и особенно недостаточная плотность синоптических станций над большей частью земного шара.

В общей постановке задача об оптимальной плотности размещения пунктов наблюдения может быть приближенно решена на основе учета пространственной структуры погодообразующих атмосферных процессов, периода действия прогноза и размеров территории, для которой он составляется, а также экономических соображений. Для целей краткосрочного прогноза погоды (до 36 ч) по пункту или небольшому району желательно, чтобы расстояние между соседними синоптическими станциями не превышало 100—150 км. Плотность аэрологической сети может быть меньше, чем плотность сети синоптических станций, так как контрасты в значениях метеорологических величин, которые хорошо выражены в приземном слое, в свободной атмосфере выражены менее резко и их можно обнаружить при меньшей плотности измерительной сети. Поэтому рекомендуется размещать пункты радиозондирования атмосферы на расстоянии 250—300 км.

Однако необходимая плотность наземной сети синоптических и аэрологических станций имеется далеко не везде. Она удовлетворяет указанным требованиям над Европой, в центральной части Северной Америки. Над океанами, в горных районах Центральной Азии, в пустынях расстояния между синоптическими станциями достигают 1000—1500 км, а между аэрологическими станциями — 2000—3000 км.

Другим недостатком наземной сети синоптических и аэрологических станций является временная дискретность наблюдений, которая может приводить к пропускам резких изменений в значениях метеорологических величин или режима погоды в целом между сроками. Так, например, могут остаться незафиксированными осадки в поле зрения наблюдателя, кучево-дождевая облачность и т. д.

Недостаточная плотность сети синоптических станций над морями и океанами в определенной мере компенсируется метеорологическими наблюдениями на торговых и промысловых судах, производимых попутно с выполнением основного задания. Однако эти суда находятся или на основных международных трассах морских перевозок или в ограниченных рыболовецких районах, в результате чего большая часть океанических акваторий по-прежнему остается слабо освещенной метеорологическими данными. Решить эту проблему может создание сети автоматических якорных и дрейфующих гидрометеорологических станций (бுவ).

1.4 Устройство метеорологической площадки и требования, предъявляемые к ней

1.4.1 Общие требования к расположению метеорологической площадки

Поскольку все метеорологические наблюдения проводятся на метеорологической площадке, большую роль играет правильное расположение площадки, грамотная расстановка приборов на ней, и тщательный уход [3].

Метеорологическая площадка выбирается на участке, характерном для окружающей местности и не отличающимся от окружающей территории какими-либо особенностями теплообмена и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой.

Характерность метеорологической площадки обеспечивается тем, что она располагается на преобладающих формах рельефа, наблюдающихся в районе, и удалена от источников влаги (море, озеро, река, водохранилище) на расстояние не менее 100 м от уреза воды при максимальном уровне воды в водоеме.

Метеорологическая площадка должна быть удалена от невысоких отдельных препятствий (одноэтажных построек, отдельных деревьев и т. п.) на расстояние не меньше 10-кратной высоты этих препятствий. От значительных по протяженности препятствий (лесов, больших групп построек, городских улиц и т. п.) площадка должна быть удалена на расстояние не меньше 20-кратной высоты этих препятствий.

Нельзя размещать метеорологическую площадку вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа.

Характерность метеорологической площадки должна сохраняться на протяжении всего периода работы станции. Поэтому на территории станции и в ее охранной зоне запрещается производить работы, которые могут привести к искажению условий местоположения площадки.

1.4.2 Устройство метеорологической площадки

Типичная метеорологическая площадка имеет квадратную форму размером 26×26 м с направлением север – юг.

Во избежание застройки площадки за каждой станцией должен быть закреплен земельный участок размером около одного гектара (100×100 м), на котором соответственно должна быть размещена метеорологическая площадка.

Оборудование и приборы должны быть размещены таким образом, чтобы на них не оказывали влияние соседние установки, к примеру, мачты с флюгерами, анеморумбометр с самописцем ветра, осадкомер, плювиограф, гелиограф, россограф и ледоскоп, а также почвенные термометры.

При наличии дополнительных установок на площадке ее размеры увеличиваются и определяются программой работы станции так же, как и размеры площадок специализированных станций и станций при обсерваториях.

Для сохранения поверхности метеорологической площадки в естественном состоянии на территории площадки разрешается передвигаться только по специально проложенным дорожкам, шириной не более 40 см.

Дорожки должны обеспечивать подход к будкам и почвенным термометрам – с севера, к гелиографу – с юга, а к другим установкам – так, чтобы наблюдения проводились с наименьшими затратами времени на переходы к различным установкам.

Для сохранения естественной поверхности площадки, для сохранности приборов и оборудования площадку необходимо огородить.

Ограда должна состоять из проволочной сетки с ячейками размером 10×10 см, натянутой на металлические рамы. Рамы укрепляются на металлических трубах либо деревянных столбах высотой 1.2 – 1.5 м над поверхностью земли.

Калитка для прохода на площадку устанавливается с северной стороны ограды.

Бывают случаи, когда метеорологическая площадка не нуждается в ограждении, к примеру, на высокогорных или таежных станциях. В этом случае вместо ограды достаточно обозначить контуры площадки камнями либо выбеленными колышками.

При производстве метеорологических наблюдений в ночное время на метеорологическую площадку поступает постоянное электрическое освещение.

И, наконец, метеорологическая площадка должна располагаться по возможности недалеко от служебного помещения станции, не далее 100 – 120 м, и быть под постоянным контролем дежурных наблюдателей.

1.4.3 Требования к содержанию метеорологической площадки

Траву на метеорологической площадке нужно регулярно скашивать. Высота травы должна быть не более 20 см. Просушивать траву на территории площадки ни в коем случае нельзя, поэтому ее нужно сразу же убирать.

В зимнее время категорически нельзя нарушать естественное состояние снежного покрова на площадке. Не разрешается удалять снег с площадки или ускорять его таяние весной путем разбрасывания по площадке.

Если на площадке образуются сугробы, уменьшающие работоспособность приборов, их следует срезать, при этом, не нарушая структуру оставшегося слоя снега.

С крыш, со стенок будок, с планок осадкомера снег необходимо удалять до наблюдений.

Необходим постоянный уход и слежка за метеорологической площадкой, дабы предотвратить возникновение каких-либо неисправностей.

Нужно следить за всеми изменениями на местности, в радиусе 300 – 500 м от метеорологической площадки. Если намечаются существенные изменения в характере местности, следует заблаговременно сообщить об этом в УГМС.

2. Комплексная радиотехническая аэродромная метеорологическая станция КРАМС–4

2.1 Назначение метеорологической станции КРАМС-4

Данная станция предназначена для метеорологического обеспечения авионавигации. По состоянию на 2012 г. станция «КРАМС–4» различной комплектации установлена на 114 аэродромах, вертодромах и вертолетных площадках России, стран СНГ и бывших республик Советского Союза. «КРАМС–4» предназначена для измерения и сбора метеоинформации об основных параметрах атмосферы на аэродроме, обработки этой информации, формирования метеорологических сообщений, отображения, регистрации и распространения информации по каналам связи для обеспечения взлета и посадки воздушных судов [4].

Станция обеспечивает:

- автоматические дистанционные измерения метеовеличин;
- обработку измерительных сигналов;
- автоматическое распространение метеоинформации внутри аэродрома, а также за пределы аэродрома в кодах *METAR/SPESI*, *MET REPORT/SPECIA*, *ATIS* и КН-01;
- архивацию всей метеоинформации с указанием времени и места проведения измерения метеовеличин.

2.2 Устройство метеорологической станции КРАМС-4

Измерительная система «КРАМС–4» состоит из измерительного, связующего, и вычислительного компонентов, а также средств отображения, регистрации и представления метеоинформации.

Измерительный компонент станции состоит из датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, измеряющих:

- температуру и влажность воздуха;
- атмосферное давление;
- скорость и направление ветра;
- высоту нижней границы облаков (вертикальную видимость);
- метеорологическую оптическую дальность видимости;
- интенсивность и количество осадков;
- явления погоды и грозвые разряды.

Связующий компонент (каналы связи) – техническое средство либо часть окружающей среды, предназначенное или используемое для передачи с минимально возможными искажениями сигналов, несущих информацию об измеряемой величине от одного компонента системы к другому.

В «КРАМС–4», размещаемых на аэродромах, каналами связи являются аэродромные линии связи, по которым производится передача измерительных сигналов (аналоговых или цифровых) от датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей в вычислительный компонент. Для увеличения дистанционности передачи измерительных сигналов от датчиков метеовеличин в центральную систему в «КРАМС–4» используются последовательные линии *RS232* и модемы типа *DMX55, ZYXEL, V3365/U336R* и др.

Вычислительный компонент «КРАМС–4» представлен центральной системой, включающей в себя: две ПВЭМ, два принтера, две платы расширения каналов; блок коммутации типа БК–16М, два комплекта базового программного обеспечения, два комплекта специального программного обеспечения, модем с комплектом разъемов и источник бесперебойного питания.

Центральная система выполняет следующие функции:

- управляет работой датчиков;

- производит прием и архивацию измерительных сигналов;
- обеспечивает ручной ввод данных, необходимых для обеспечения аэронавигации;
- производит обработку измерительных сигналов (осреднение, выбор экстремальных значений, фильтрация и т.д.);
- производит вычисление (определение и оценку) метеорологических величин, необходимых для метеорологического обеспечения аэронавигации (дальность видимости на ВПП, параметры ветра, давление, приведенное к уровню порогов ВПП и уровню моря, температуры точки росы и др.);
- формирует сообщения, передаваемые внутри аэродрома и распространяемые за пределы аэродромов (в коде METAR/SPECI);
- производит архивацию всей выдаваемой метеоинформации с возможностью распечатки на принтере;
- производит построение графиков изменения метеовеличин во времени с возможностью распечатки на принтере;
- обеспечивает сигнализацию об отказах датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей, входящих в измерительный компонент, а также линий связи, соединяющих датчики метеовеличин и средства отображения метеоинформации;
- ведет календарь и текущий счет времени.

Функции центральной системы «КРАМС–4» могут быть расширены при включении в измерительный компонент новых датчиков метеовеличин, а также средств автоматизированного распознавания атмосферных явлений.

2.3 Измерительные блоки, входящие в состав КРАМС - 4 и их технические характеристики.

Измеритель параметров ветра ИПВ–01 предназначен для измерения скорости (текущей, средней и максимальной) и направления воздушного

потока с выводом на индикатор или экран ПЭВМ. В состав измерителя параметров ветра ИПВ – 01 входит датчик скорости и направления ветра, блок сопряжения (БС), блок индикации, разветвительная коробка, программа обработки данных и блок измерения.

Принцип измерения скорости и направления ветра ИПВ – 01 основан на преобразовании горизонтальной составляющей скорости и направления воздушного потока в электрический сигнал цифрового вида, передаваемый по двухпроводной линии связи.

Блок сопряжения принимает сигналы от датчиков (один раз в секунду) и переводит принятые сигналы в соответствующие единицы измерения. Для передачи массива данных по линии связи используется интерфейс RS-232.

Программа обработки данных (для операционной системой *Windows 95* и выше) формирует текущие (5 с) и средние (2 и 10 мин.) значения параметров ветра со скользящими интервалами осреднения. Также формируются: максимальные значения скорости ветра за 2 и 10 мин, значение скорости вдоль и поперек взлетно-посадочной полосы, ведется архивация данных. Данные выводятся на экран ПЭВМ в цифровом и графическом виде.

Блок индикации формирует мгновенные (1 с), текущие (5 секунд) и средние (2 и 10 мин) значения параметров ветра со скользящими интервалами осреднения, минимальную и максимальную скорость ветра (на скользящем интервале 10 мин и за текущий час), ведет счет суточного времени. На индикацию выводится любая пара параметров по выбору оператора. Линия связи с блоком индикации – двухпроводная с дистанционностью до 3000 м при сечении провода 0,2 мм².

Технические характеристики измерителя параметров ветра ИПВ–01 и диапазоны измерений приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Технические характеристики и диапазон измерения ИПВ-01

Диапазон измерения скорости воздушного потока (V), м/с	от 0,5 до 80
Пределы допускаемой погрешности при измерении скорости воздушного потока (при осреднении за 5 с, 2 и 10 мин): – абсолютной, м/с, в диапазоне скорости от 0,5 до 6 м/с (с применением программы обработки данных «LIMB») – относительной, %, при скорости более 6 м/с	$\pm 0,5$ ($\pm 0,3$) ± 5
Диапазон измерения направления воздушного потока, градус	от 0 до 360
Пределы допускаемой абсолютной погрешности при измерении направления воздушного потока (при осреднении за 5 с, 2 и 10 мин), градус: – при средней скорости до 1 м/с – при средней скорости более 1 м/с	± 10 ± 3
Питание от сети переменного тока – напряжением, В – частотой, Гц	220 50 \pm

Измеритель атмосферного давления РТВ200 предназначен для измерения атмосферного давления в автоматическом режиме. Принцип действия цифрового барометра РТВ200 основан на измерении емкости керамического конденсатора. Изменение емкости керамического конденсатора преобразуется в электрические сигналы, далее с помощью контроллеров – в цифровую форму и передаются на средства отображения. Барометр РТВ200 может работать непрерывно или по запросу. Технические характеристики измерителя атмосферного давления РТВ200 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2 - Технические характеристики и диапазон измерения РТВ200

Диапазон измерения атмосферного давления, гПа	от 500 до 1100
Пределы допускаемой основной погрешности, гПа (в зависимости от модификации)	от $\pm 0,1$ до $\pm 0,45$
Пределы допускаемой дополнительной температурной погрешности, гПа (в зависимости от модификации)	не более $\pm 0,1-0,4$
Питание, В (в зависимости от модификации)	5-30

Для подключения к ПЭВМ метеорологического комплекса измеритель атмосферного давления *PTB200* имеет несколько последовательных интерфейсов *RS-232, RS-422 RS-485*.

Высота нижней границы облаков и ее измерение. Сложный характер структуры нижней границы низких облаков не позволяет однозначно определить высоту ее нижней границы различными методами и средствами. Трудность измерения действительного значения высоты нижней границы облаков усугубляется отсутствием определения того, что именно принимается за высоту нижней границы.

Основной целью измерения высоты нижней границы облаков (вертикальной видимости) с земной поверхности при метеорологическом обеспечении аэронавигации является выдача информации о высоте, на которой пилот воздушного судна при посадке установит зрительный (визуальный) контакт с ВПП или потеряет его при взлете. В метеорологические минимумы (командира воздушного судна, воздушного судна и аэродрома или ВПП либо направления взлета и посадки) входит кроме минимальной дальности видимости на ВПП высота принятия решения. Под высотой принятия решения понимается установленная относительная высота, на которой должен быть начат маневр ухода на второй круг в случаях:

- если до достижения этой высоты командиром воздушного судна не был установлен необходимый визуальный контакт с ориентирами для продолжения захода на посадку;
- если положение воздушного судна в пространстве относительно заданной траектории полета не обеспечивает безопасности посадки.

Высота принятия решения отсчитывается от уровня порога ВПП. Порог ВПП – это начало участка ВПП, который может использоваться для посадки воздушных судов. Следовательно, высота принятия решения определяется

пилотом по его оценке высоты не вертикально вниз, а под определенным углом к горизонтальной плоскости.

Принцип измерения высоты нижней границы облаков основан на концепции различия характеристик спектральной селективности внутри облака и в атмосфере, предшествующей облачности. Благодаря этому различию в нижней части облака образуется световое пятно от источника света, установленного на земной поверхности, над которой измеряется высота нижней границы облаков (вертикальная видимость). Расстояние между источником света и образованным им световым пятном в основании облака определяется в настоящее время двумя методами:

- путем измерения углового превышения (триангуляционный метод);
- посредством отсчета времени прохождения луча света от источника света (передатчика) к световому пятну в основании облака и обратно.

Измеритель высоты облаков CL31 представляет собой лазерный измеритель высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости. Хорошо подходит для мобильной работы благодаря своим размерам.

В основе работы облакомера *CL31* лежит лазерная импульсная диодная технология *LIDAR*. Короткие мощные импульсы посылаются в вертикальном направлении, отраженный луч (рассеянный сигнал от дымки, тумана, мглы и выпадающих осадков) при поступлении в приемник запоминается, обрабатывается и подается в виде цифровых сигналов на цифровой дисплей *DD50* или ПЭВМ, где отображается в виде измеренных значений высоты нижней границы облаков или вертикальной видимости.

Технические характеристики облакомера *CL31* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.3.

Таблица 2.3 - Технические характеристики и диапазон измерения облакомера
CL31

Диапазон измерения высоты нижней границы облаков и вертикальной видимости, м	от 0 до 7500
Интервал измерений, с	2
Дискретность индикации, м	5
Электрическое питание от источника переменного тока – напряжение, В – частота, Гц	230 (115) ± 10% от 45 до 65

Дистанционность передачи измерительных сигналов (от датчика до терминала) через RS-232 равна 300 м, через RS-485 – 1,2 км, через модем – 16 км.

Измеритель высоты облаков ДВО-2 предназначен для автоматических измерений высоты облаков с целью обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов на аэродроме. ДВО-2 может работать как автономно, так и в составе автоматизированных метеорологических станций.

Измеритель ДВО – 2 – импульсный дальномер оптического диапазона, дистанционно измеряющий вертикальное расстояние от земли до нижней границы облаков. Измерение высоты облаков обеспечивается путем измерения времени прохождения светового импульса от излучателя (передатчика) до нижней границы облаков и обратно (в приемник) и преобразования полученного временного интервала в пропорциональное ему значение высоты облаков. Значения высоты облаков рассчитываются по формуле:

$$H = \frac{c \cdot \tau}{2}, \quad (2.1)$$

где c – скорость света $3 \cdot 10^8$ м/с,

τ – время прохождения сигнала от датчика до облака и обратно, с.

ДВО-2 состоит из:

- передатчика и приемника, размещенных вблизи основного пункта наблюдений и на ближних приводных радиомаяках с обоих концов взлетно-посадочной полосы;
- линий связи;
- измерительного блока для сбора и обработки информации;
- дистанционного пульта, размещенного на основном пункте наблюдений.

В передатчике, в кардановом подвесе, заключенном в кожухе с открывающейся крышкой, расположены импульсная лампа (источник света) с питающими ее конденсаторами и параболическое зеркало.

В приемнике расположены: параболическое зеркало (приемник отраженного сигнала), фотоприемник и фотоусилитель. Как и в передатчике, эти элементы установлены в кардановом подвесе и заключены в кожухе с открывающейся крышкой. Сигнал от приемника по линии связи передается в измерительный блок, оттуда в – дистанционный пульт или в центральную систему станции (в зависимости от комплектации) для обработки и отображения на дисплее оператора.

Измеритель ДВО–2 может работать непрерывно или по запросу. Для работы в компьютерной сети дистанционный пульт имеет последовательный интерфейс RS–232. Дистанционность передачи информации измерителей до 8 км. Технические характеристики измерителя высоты облаков ДВО–2 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.4.

Таблица 2.4 - Технические характеристики и диапазон измерения измерителя высоты облаков ДВО–2

Диапазон измерения высоты облаков (H), м	от 15 до 2000
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерений высоты облаков в диапазоне 15–100 м 100–2000 м	± 10 м $\pm 0,1H$ м
Периодичность измерений, с	1.3
Дискретность индикации, м	5
Электрическое питание от источника переменного тока – напряжение, В – частота, Гц	220 \pm 10-15% 50 \pm 1

Измеритель метеорологической оптической дальности (МОД) видимости LT31 предназначен для определения МОД, ее обработки, отображения на дисплее, формирования метеорологических сообщений, регистрации и архивации данных с целью обеспечения безопасности взлета и посадки воздушных судов на аэродромах и вертодромах.

Принцип работы трансмиссометра (LT31) основан на измерении коэффициента направленного пропускания импульсного излучения модулированного светового потока при прохождении им слоя атмосферы фиксированной длины.

Измеритель состоит из излучателя (LTT111) и приемника (LTR111), которые установлены на мачтах на определенном расстоянии друг от друга.

В качестве источника света в LT31 применяется светодиод. В качестве приемника – фотодиод, перед которым установлен оптический фильтр для адаптации спектральной чувствительности приемника. Световой поток, прошедший через атмосферу принимается фотодиодом, усиливается в измерительном блоке приемника и преобразовывается в коэффициент направленного пропускания. Далее главный процессор по формуле Кошмидера и алгоритмам фирмы «Vaisala» производит пересчет коэффициента направленного пропускания в измеритель МОД, который передается на ПК. Трансмиссометры LT31 работают непрерывно, сообщения

о проведенных измерениях передаются через определенные временные интервалы или по запросу. Для обмена информацией предусмотрены последовательные интерфейсы RS-232, RS-485.

Программное обеспечение (ПО) *LT31* встроенное и расположено в излучателе, приемнике и интерфейсном блоке. При включении питания автоматически включается необходимый режим работы, в зависимости от подключенной аппаратуры. ПО «*LT31*» обеспечивает управление работой, самотестирование, сбор, обработку, передачу данных от трансмиссометров *LT31*. Технические характеристики трансмиссометра *LT31* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.5.

Таблица 2.5 - Технические характеристики и диапазон измерения трансмиссометра *LT31*

Диапазон измерений коэффициента направленного пропускания, %	от 0 до 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициента направленного пропускания, %	$\pm 0,3$
Диапазон эквивалентной МОД, м	от 10 до 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности эквивалентной МОД, %	
– от 10 до 2000 м;	± 5
– от 2000 до 4500 м;	± 10
– от 4500 до 6500 м;	± 15
– от 6500 до 10000 м;	± 20
Электрическое питание от источника переменного тока	115/220 \pm
– напряжение, В	20%
– частота, Гц	55 \pm 10%

Нефелометр *FD12/FD12P* предназначен для автоматических измерений МОД. Принцип работы этого оптического прибора основан на оценке показателя ослабления светового потока в атмосфере. Нефелометры *FD12/FD12P* состоят из излучателя *FDT12B*, приемника *FDR12*, контроллера, кронштейна, мачты.

Излучатель и приемник крепятся на мачте высотой 2,5 м напротив друг друга так, чтобы их оптические оси были направлены под углом 33 градуса к горизонтальной плоскости. Источником света служит инфракрасный светодиод. Приемник состоит из фотодиода, усилителя, фильтра и контроллера. И излучатель, и приемник оборудованы схемой контроля и компенсации загрязненности окна. Линзы излучателя и приемника защищены от осадков козырьками с встроенным обогревом. Дополнительно может быть установлен блок *LM11*, определяющий яркость фона и дающий информацию о режиме работы день/ночь. В модификации *FD12P* установлен детектор дождя, который в совокупности с измерением МОД дает информацию о типе погоды в кодированном виде (00 – ясно, 04 – мгла или дым). Интенсивность принятых импульсов светового потока измеряется и преобразуется в данные МОД с помощью запатентованного алгоритма фирмы «*Vaisala*». Технические характеристики нефелометра *FD12/FD12P* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.6.

Таблица 2.6 Технические характеристики и диапазон измерения нефелометра *FD12/FD12P*

Диапазон измерений коэффициента направленного пропускания, %	от 0 до 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициента направленного пропускания, %	± 0,3
Диапазон эквивалентной МОД, м	от 10 до 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности эквивалентной МОД, %	
– от 10 до 2000 м;	± 5
– от 2000 до 4500 м;	± 10
– от 4500 до 6500 м;	± 15
– от 6500 до 10000 м;	± 20
Электрическое питание от источника переменного тока	115/220 ±
– напряжение, В	20%
– частота, Гц	55± 10%

FD12/FD12P работают непрерывно. Сообщения о проведенных измерениях передаются с помощью последовательных интерфейсов *RS-232*, *RS-485* с определенной дискретностью или по запросу. При использовании модемов нефелометры *FD12/FD12P* могут быть удалены от обслуживаемого терминала на расстояние до 10 км.

Измеритель метеорологической оптической дальности видимости ФИ-3 представляет собой трансмиссометр и предназначен для непрерывного дистанционного измерения и регистрации светового коэффициента направленного пропускания (СКНП) атмосферы в месте установки и по его значению для вычисления МОД. ФИ-3 включает в себя излучатель, два приемника (один совмещен с излучателем световых импульсов, а другой – с отражателем). Такая конструкция обеспечивает расширенный диапазон измерения МОД.

Принцип действия ФИ-3 основан на измерении степени ослабления интенсивности световых импульсов после их прохождения через слой атмосферы. В качестве источника света используется полупроводниковый светодиод, а в качестве приемников – кремниевые фотодиоды. Зондирующие импульсы пропускаются через слой атмосферы только в направлении от излучателя к приемнику (режим «ОБ» МДВ до 400 м). При значениях МДВ свыше 400 м зондирующие импульсы пропускаются как в прямом, так и в обратном направлениях и воспринимаются другим приемником, совмещенным с излучателем (режим ОД, «Дальний»). Преобразователи преобразуют поступающие на вход приемников световые импульсы в электрические сигналы для их дальнейшего измерения, обработки, отображения, регистрации, кодирования и распространения по метеорологической сети.

Выходные сигналы ФИ-3, соответствующие измеренным значениям СКНП, подаются на блок индикации (БИ), который может быть удален от фотометрического блока на расстояние до 8 км. ФИ-3 выпускаются с

измерительными базами 50; 70; 100 м. Технические характеристики ФИ–3 и диапазоны измерений приведены в табл. 2.7.

Таблица 2.7 Технические характеристики и диапазон измерения ФИ–3

Диапазон измерений коэффициента направленного пропускания, %	от 0 до 100
Пределы допускаемой абсолютной погрешности измерений коэффициента направленного пропускания, %	$\pm 0,3$
Диапазон эквивалентной МОД, м	от 10 до 10000
Пределы допускаемой относительной погрешности эквивалентной МОД, %	
– от 10 до 2000 м;	± 5
– от 2000 до 4500 м;	± 10
– от 4500 до 6500 м;	± 15
– от 6500 до 10000 м;	± 20
Электрическое питание от источника переменного тока	115/220 \pm
– напряжение, В	20%
– частота, Гц	55 \pm 10%

Осадкомер *RG13/RG13H* предназначен для измерений количества выпавших жидких и твердых атмосферных осадков и передачи полученных данных по линиям связи на регистрирующее устройство или ПК. Осадкомер *RG13/RG13H* может работать как автономно, так и в составе автоматизированных метеорологических станций.

Принцип действия осадкомера *RG13/RG13H* основан на регистрации числа опрокидываний лоточного механизма, в который из воронки попадают осадки. При заполнении лоточный механизм опрокидывается и замыкает контакт (геркон). Образующийся при этом электрический сигнал поступает по линиям связи на регистрирующее устройство или ПК. Каждое опрокидывание фиксирует определенное количество (0,2 мм) осадков. Осадкомер *RG13* предназначен для измерений количества выпавших жидких атмосферных осадков. Осадкомер *RG13* – для измерений количества выпавших жидких и твердых атмосферных осадков (снег, лед), которые растапливаются с помощью специального обогрева (включается автоматически при достижении температуры воздуха 4 °С). Осадкомер

RG13/RG13H работает круглосуточно, сообщения о метеорологических параметрах передает непрерывно или по запросу, имеет последовательный интерфейс *RS-232*. Дистанция подключения *RG13/RG13H* при использовании модемов от 0,3 до 10 км. Технические характеристики осадкомера *RG13/RG13H* и диапазоны измерений приведены в табл. 2.8.

Таблица 2.8 Технические характеристики и диапазон измерения осадкомера
RG13/RG13H

Диапазон измерения количества осадков (М), мм	от 0,2 до 9999
Пределы допускаемой относительной погрешности, %	$\pm(0,5+0,2/M)$
Площадь приемного отверстия, см ²	400
Напряжение питания переменного тока, В	48

Одним из преимуществ и достоинств «КРАМС–4» является возможность использования в измерительном компоненте любых сертифицированных датчиков, первичных и промежуточных измерительных преобразователей метеовеличин, подтвержденных Сертификатом типа метеоборудования аэродромов, выданным Межгосударственным авиационным комитетом.

3. Использование геоинформационной технологии для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций общего назначения

3.1 Концепция ГИС

Появление географических информационных систем относят к началу 60-х годов прошлого века. Именно тогда сложились предпосылки и условия для информатизации и компьютеризации сфер деятельности, связанных с моделированием географического пространства и решением пространственных задач [5].

Географическая информационная система - аппаратно-программный человеко-машинный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, отображение и распространение пространственно-координированных данных, интеграцию данных, информации и знаний о территории для их эффективного использования при решении научных и прикладных задач, связанных с инвентаризацией, анализом, моделированием, прогнозированием и управлением окружающей средой и территориальной организацией общества [6].

Географическая информационная система поддерживает несколько видов работ с географической информацией [7]:

1. База геоданных ГИС - это пространственная база данных, содержащая наборы данных, которые представляют географическую информацию в контексте общей модели данных ГИС (векторные объекты, растры, топология, сети и т.д.).

2. Геовизуализация ГИС - это набор интеллектуальных карт и других видов, которые показывают пространственные объекты и отношения между объектами на земной поверхности. Могут быть построены разные виды карт, и они могут использоваться как “окна в базу данных” для поддержки запросов, анализа и редактирования информации.

3. Геообработка - это набор инструментов для получения новых наборов географических данных из существующих наборов данных. Функции обработки пространственных данных извлекают информацию из существующих наборов данных, применяют к ним аналитические функции и записывают полученные результаты в новые производные наборы данных.

ГИС – это особый тип базы данных об окружающем мире – географическая база данных (база геоданных). В основе ГИС лежит структурированная база данных, которая описывает мир в географическом аспекте.

Географическое представление. Создавая дизайн базы геоданных ГИС, пользователи определяют, как будут представляться разные пространственные объекты. Например, земельные участки обычно представляются как полигоны, улицы - как центральные линии, скважины - как точки, и т.д. Эти объекты группируются в классы объектов, в которых каждый набор имеет единое географическое представление. Каждый набор данных ГИС дает пространственное представление какого-то аспекта окружающего мира, проиллюстрированное на рисунках 3.1 – 3.5.

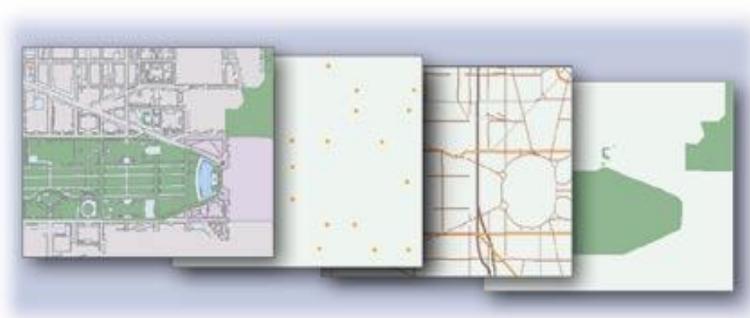


Рис. 3.1 Упорядоченные наборы векторных объектов (наборы точек, линий и полигонов)

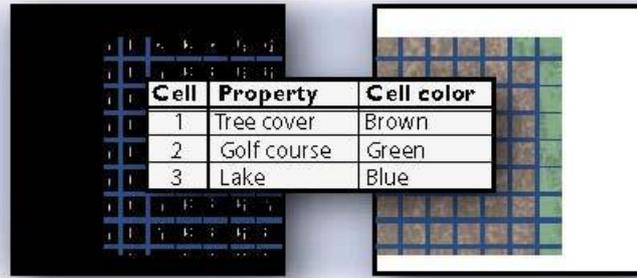


Рис. 3.2 Наборы растровых данных, такие как цифровые модели рельефа или изображения

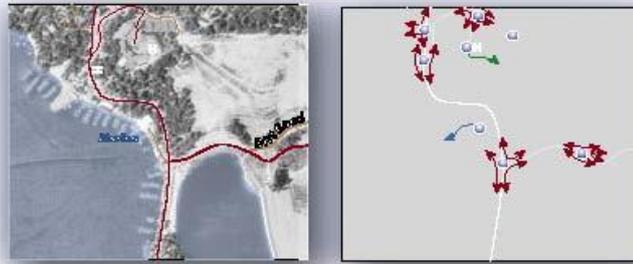


Рис. 3.3 Пространственные сети

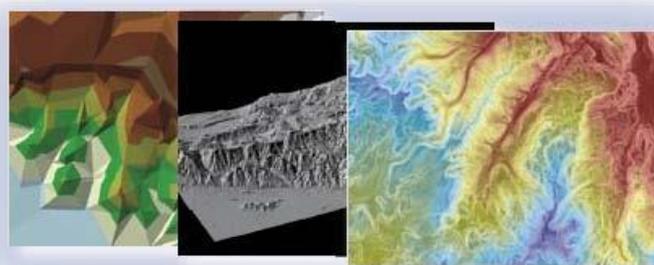


Рис. 3.4 Топография местности и другие поверхности



Рис. 3.5 Наборы данных геодезической съемки

Тематические слои и наборы данных. ГИС организует пространственные данные в серии тематических слоев и таблиц, пример которых представлен на рисунке 3.6. Так как наборы данных в ГИС связаны географически, им приписаны реальные местоположения, и они накладываются друг на друга.

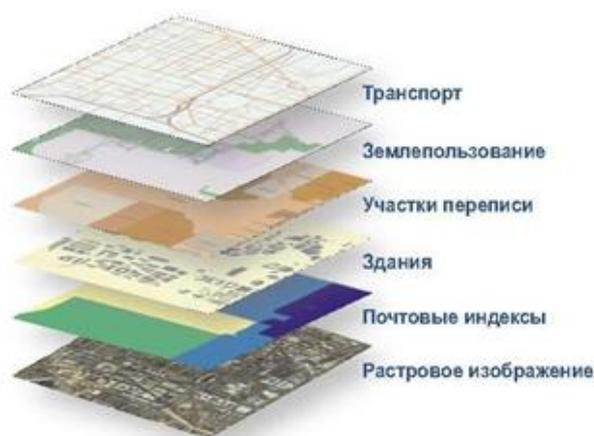


Рис 3.6 Пример тематических слоев базы данных ГИС

В ГИС однородные наборы географических объектов собраны в такие слои, как земельные участки, скважины, здания и сооружения, ортофотоснимки и растровые цифровые модели рельефа. Четко определенные наборы геоданных критически важны для геоинформационной системы, а основанное на слоях понятие тематического набора информации важно для концепции набора данных ГИС.

ГИС будет использовать множество наборов данных со многими представлениями, часто полученными из разных организаций. Поэтому, очень важно, чтобы наборы данных ГИС были:

- Простыми в использовании и легкими для понимания.
- Совместимыми с другими наборами географических данных.
- Эффективно компилируемыми и оцениваемыми.
- Снабжены понятной документацией по наполнению, планируемому использованию и назначению.

Геоовизуализация. Геоовизуализация подразумевает работу с картами и другими видами географической информации, в том числе с интерактивными картами, 3D сценами, итоговыми диаграммами и таблицами, видами с показателями времени, схематическими видами сетевых отношений.

ГИС включает в себя интерактивные карты и прочие виды, оперирующие с наборами географических данных. Карты - это мощный модельный образ для определения и стандартизации того, как люди используют географическую информацию и взаимодействуют с ней. Интерактивные карты предоставляют основной пользовательский интерфейс для большинства ГИС-приложений. Они доступны на многих уровнях: от карт для беспроводных мобильных клиентов до Web-карт в браузерах и карт в мощных настольных ГИС-приложениях.

Карты в ГИС во многом схожи со статичными бумажными картами, но к тому же они интерактивны, то есть вы можете взаимодействовать с ними. Интерактивную карту можно уменьшать и увеличивать, причем при определенных масштабах некоторые слои на карте могут появляться или исчезать. Можно применять условные знаки для отображения слоев карты на основе любого выбранного набора атрибутов. При указании географического объекта на интерактивной карте можно получить о нем дополнительную информацию, строить пространственные запросы и проводить анализ. Кроме того, многие пользователи ГИС посредством интерактивных карт проводят редактирование данных и создают пространственные представления объектов.

3.2 ГИС IDRISI

Для обработки данных спутникового дистанционного зондирования Земли и геоинформационных технологий удобен пакет прикладных программ IDRISI, разработанный в университете Кларка штата Массачусетс (США). Этот пакет, получивший некоторое распространение в России, может

использоваться не только в учебных, но и в научно-практических целях. Особенностью структуры пакета является включение в состав библиотеки изображений земной поверхности, полученных с помощью сканера AVHRR спутника NOAA и сканеров TM, MSS спутника LANDSAT [8].

Пакет программ IDRISI объединяет порядка 100 программных модулей. Основные из них:

- работа с файлами (описание файла, редактирование файла, создание копии файла, переименование файла, удаление файла, импорт);
- визуализация (вывод на экран, работа с символьными файлами, работа с файлами палитры, вывод гистограммы);
- изменение формата данных (конвертирование файлов, изменение картографической проекции, изменение масштаба, преобразование растровых изображений в векторные и наоборот и др.);
- цифровая обработка изображений (восстановление и улучшение изображений, математические операции над изображениями, вычисление статистических характеристик, распознавание образов, анализ временных серий, работа с базой данных).

Картографическая и спутниковая информация в пакете представляется в растровом и векторном виде. Растровые и векторные файлы сопровождаются файлами документации, в которых хранятся основные данные о файлах изображений, в том числе о системе географических координат, единице измерения, максимальных и минимальных координатах и др. Простота форматов растровых и векторных файлов позволяет легко создавать дополнительные определенные пользователем модули.

IDRISI снабжен системой, которая позволяет импортировать и экспортировать графические файлы в форматах TIFF, BMP, DXF и файлы в форматах, применяемых в ГИС-системах: ARCINFO, ATLAS*GIS BNA, ERDAS, GRASS, Map Analysis Package (MAP), MAPINFO и др.

Процедуры улучшения изображений предусматривают гистограммные преобразования: эквализацию и растяжку гистограмм. Многоспектральные

спутниковые изображения могут быть представлены в условных цветах. Для цифровой фильтрации в пространственной области используются линейные фильтры — сглаживающие и градиентные; нелинейные фильтры представлены медианным фильтром и фильтром Собела. Размеры окон фильтров различные — от 3x3 до 7x7. У пользователя существует также возможность самому задавать весовые множители фильтров.

Классификация изображений предусматривает применение байесовской процедуры, метода максимального правдоподобия, метода параллелепипедов, метода минимальных расстояний и др. Возможны вычисления вегетационного индекса и анализ главных компонент, кластерный анализ.

Для статистического анализа IDRISI имеет ряд модулей, которые позволяют производить расчет основных статистических характеристик, в том числе функции автокорреляции, линейной регрессии между двумя изображениями и др.

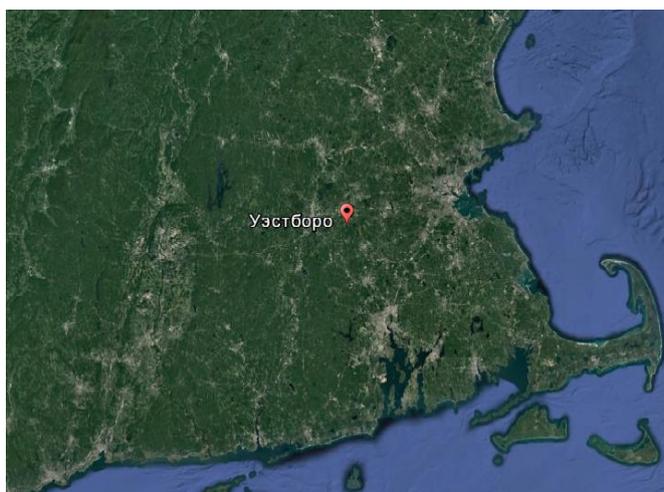
В руководстве к пакету IDRISI приводятся краткие теоретические сведения о ГИС, необходимые сведения из геодезии и картографии, введение в дистанционное зондирование и цифровую обработку изображений.

IDRISI используется более чем в 130 странах.

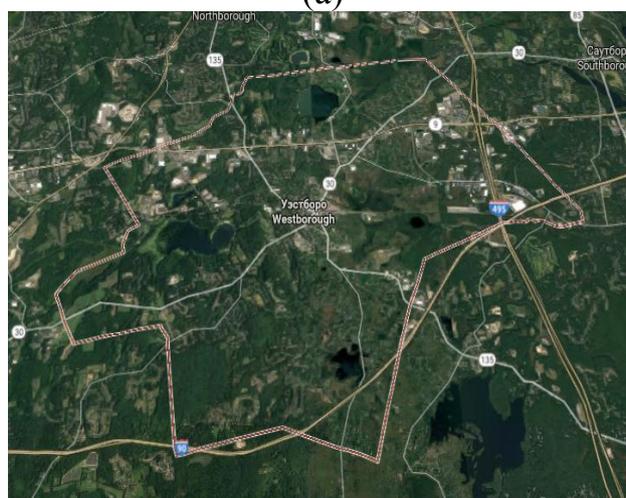
3.3 Описание территории и изучение базы данных

3.3.1 Описание территории

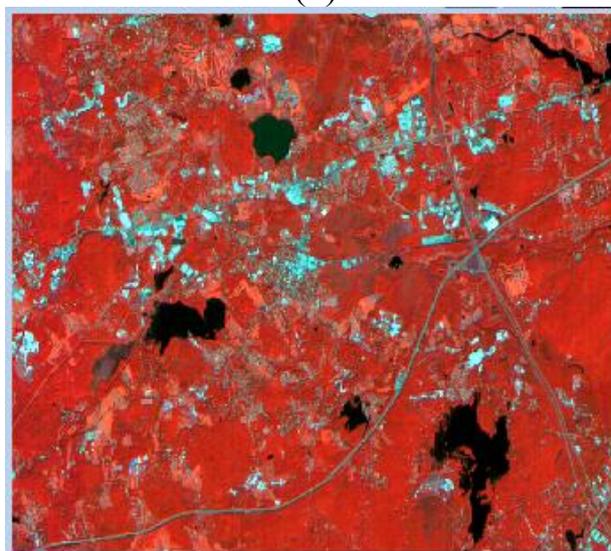
В качестве исходных данных была выбрана территория Уэстборо, штат Массачусетс, расположенная в США. Спутниковый снимок был получен с помощью программы Google Earth Pro и изображен на рис. 3.7.а-с



(а)



(б)



(в)

Рис.3.7. Спутниковые снимки территории Уэстборо, полученные (а) и (б) - с помощью программы Google Earth Pro; (в) – в ГИС Idrisi применением модуля COMPOSIT

Для оптимизации поиска мест установки автоматических метеостанций использовали систему Glovis, а именно спутник Landsat, с помощью которого получили изображение за 11 апреля 2017г., представленное на рисунке 3.8.

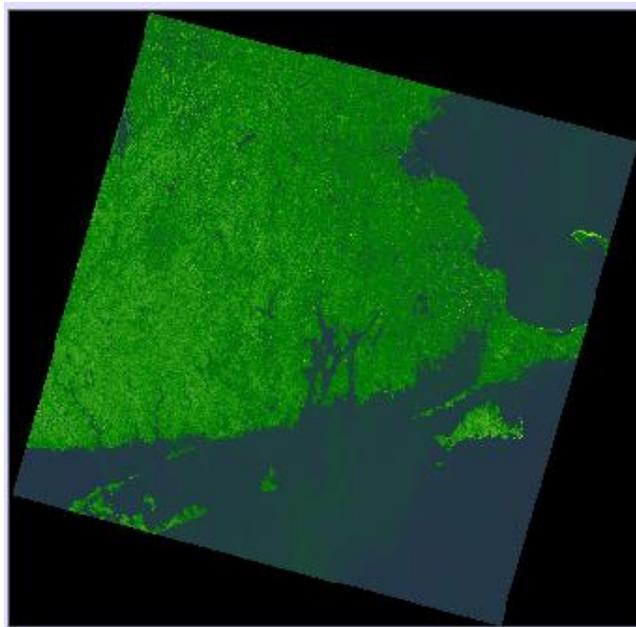


Рис 3.8 – Изображение, полученное со спутника Landsat

Программа Landsat — довольно продолжительный проект по получению спутниковых снимков планеты Земля. Первый из спутников в рамках программы был запущен в 1972. Снимки, полученные в США и со спутников по всему миру, являются уникальным ресурсом для проведения разнообразных научных исследований в области картографии, геологии, лесоводства, сельского хозяйства, разведки и национальной безопасности.

Спутники серии Landsat обладают высоким пространственным разрешением, средним пространственным охватом, относительно высокой периодичностью, высокой стоимостью. Сканеры MSS (Multispectral Scanner) и ТМ (Thematic Mapper) на американских спутниках Landsat до недавнего времени обеспечивали единственный и наиболее популярный массив многолетних цифровых космических съемок. Спутники Landsat работают на полярных солнечно-синхронных орбитах, частота повторной съемки на экваторе 16-18 дней (в зависимости от спутника). Данные MSS обладают пространственным разрешением порядка 80 м, 4 широкими спектральными

зонами в диапазоне 0.5 - 1.1 мкм. Данные ТМ имеют пространственное разрешение 30 м - в видимом, ближнем и средних инфракрасных зонах, 120 м - в тепловом диапазоне, а также семь спектральных зон в диапазоне 0.45 - 12 мкм. MSS доступны с 1972 г., ТМ с 1982 г. Полоса обзора для обоих сканеров - около 185 км.

Снимки были получены с сайта <http://earthexplorer.usgs.gov/>:

3.3.2 Изучение базы данных

В базе данных имеются следующие слои данных:

Растровые данные:

- DEM (цифровая модель рельефа района Уэстборо);
- LANDUSE71, LANDUSE85, LANDUSE91 (карты землепользования за 1971, 1985, 1991 гг.);
- STREAMS (реки);
- WATER85 (карта водных ресурсов в 1985 г.);
- INDCMSUIT (карта промышленной/коммерческой застройки);
- HDRESSUIT (карта жилой застройки с высокой плотностью населения);
- LDRESSUIT (карта жилья с низкой плотностью);
- CROPSUIT (карта пастбищ);
- FOREST71, FOREST91, FORESTSUIT (карты лесов за 1971 и 1991 гг.);
- GRASSUIT (карта травяного покрова);
- ROADS, ROADSUIT (карта автомобильных дорог);
- WETSUIT (карта водно-болотных угодий).

Векторные данные:

- ROADS (автомобильные дороги всей исследуемой территории);

- STREAMS (речная сеть всей исследуемой территории);
- WESTROADS (автомобильные дороги п. Уэстборо);
- WESTSTREAMS (речная сеть п. Уэстборо).

Для решения поставленной задачи наибольший интерес представляют карты DEM, LANDUSE91, STREAMS, WATER85.

На карте землепользования LANDUSE различным цветом закодированы участки ландшафтов разного типа:

1. High Density Residential – высокая плотность жилых застроек;
2. Low Density Residential – низкая плотность жилых застроек;
3. Industrial / Commercial – промышленная/коммерческая застройка;
4. Roads / Transportation – автомобильные дороги/транспорт;
5. Water – реки и озера;
6. Cropland and Pasture – пахотные земли и пастбища;
7. Forest – леса;
8. Wetland – водно-болотные угодья;
9. Grass Surfaces – травяной покров.

С помощью IDRISI-Kilimanjaro был произведен анализ данной территории и определены зоны, в которых возможна установка автоматических метеостанций общего назначения [9,10].

3.4. Построение карт участков, удовлетворяющих критериям расположения автоматических метеостанций общего назначения

3.4.1. Определение участка, характерного для данной местности

Метеоплощадка, согласно требованиям, предъявляемым к ней, должна располагаться на участке, характерном для данной местности, и не отличающимся от окружающей территории какими-либо особенностями теплообмена и влагообмена подстилающей поверхности с атмосферой. Для

нахождения таких участков сначала с помощью команды HISTO была получена гистограмма, представленная на рисунке 3.9 для карты землепользования за 1991г., представленной на рисунке 3.10.

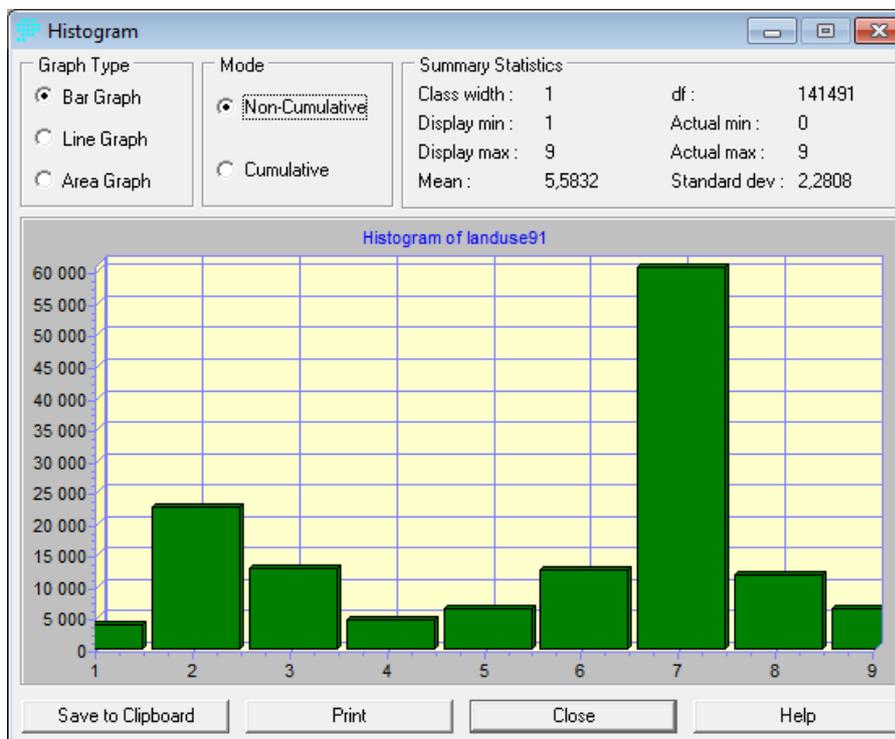


Рис. 3.9 Гистограмма карты землепользования

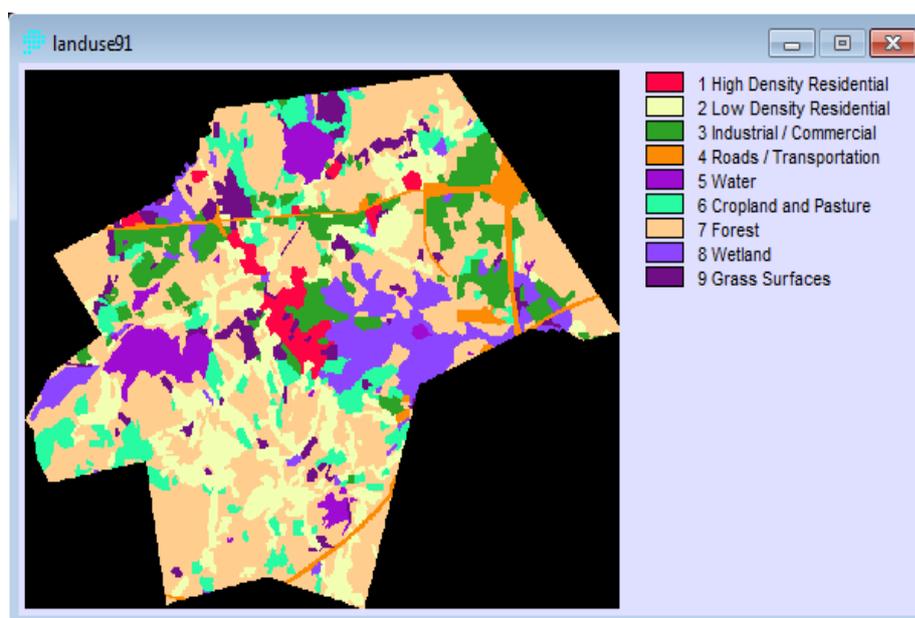


Рис. 3.10 Карта землепользования за 1991г.

На гистограмме видно, что наиболее характерным типом ландшафта для данной территории (исключая леса и промышленные зоны) являются пашни, пастбища, закодированные кодом 6, и травяной покров, закодированный кодом 9.

Далее, с помощью команды RECLASS всем участкам карты землепользования, на которых находятся пашни с пастбищами и травяной покров присвоено значение «1», всем остальным участкам «0». В результате получена следующая карта, представленная на рис. 3.11.

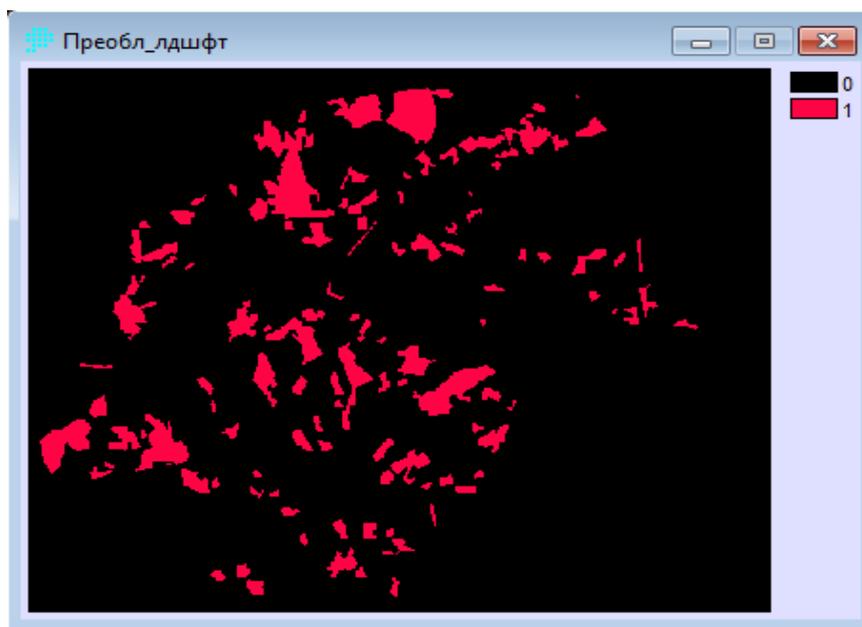


Рис. 3.11 Участки, характерные для данной местности

3.4.2. Определение преобладающих форм рельефа, наблюдающихся в данном районе

Метеоплощадка должна располагаться на преобладающих формах рельефа. Для учета этого требования с помощью команды HISTO была построена гистограмма, представленная на рисунке 3.12 для карты рельефа DEM, изображенной на рисунке 3.13.

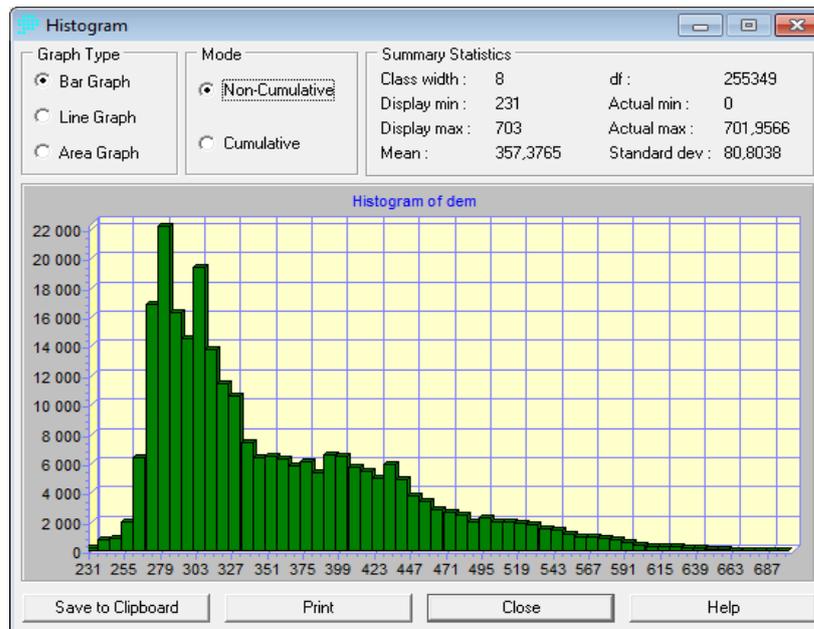


Рис 3.12 Гистограмма карты рельефа

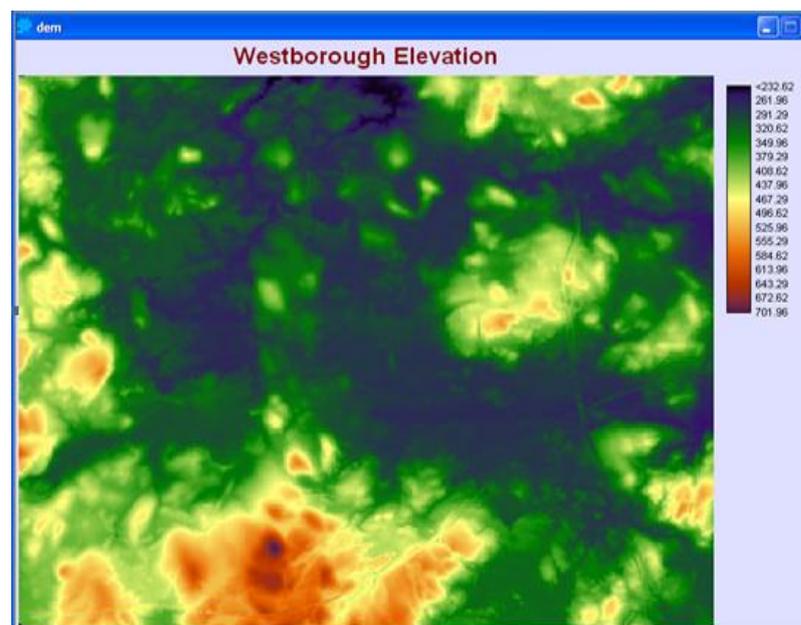


Рис. 3.13 Карта рельефа

На гистограмме видна зона максимума (со значениями от 274 до 328). Этот максимум соответствуют преобладающим формам рельефа. С помощью команды RECLASS этим участкам было присвоено значение «1», остальным «0». В результате получена следующая карта, представленная на рисунке 3.14.

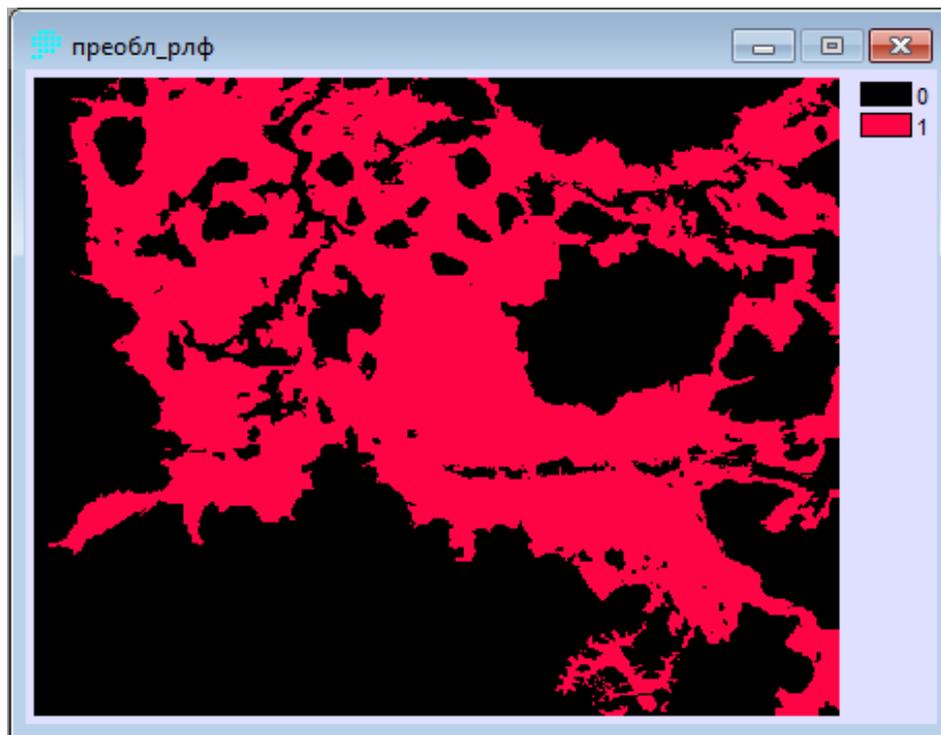


Рис. 3.14 Участки с преобладающим рельефом

3.4.3. Определение района с удалением от источников влаги не менее 100 м

Следующее требование по расположению метеоплощадки – удаление от источников влаги не менее чем на 100 м. В данном случае источниками влаги являются реки и озера. Информация о них содержится на картах STREAMS и WATER85, поэтому накладываем их друг на друга с помощью команды OVERLAY и получаем карту источников влаги, представленную на рисунке 3.15.

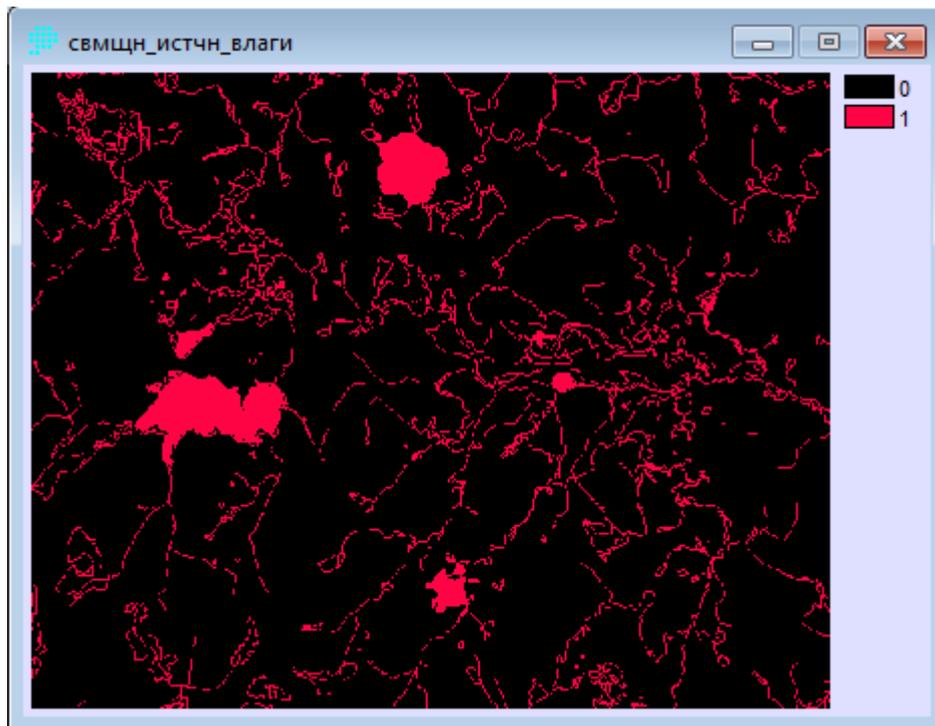


Рис. 3.15 Карта источников влаги

С помощью команды DISTANCE получены все удаления от источников влаги. Изображение представлено на рисунке 3.16.

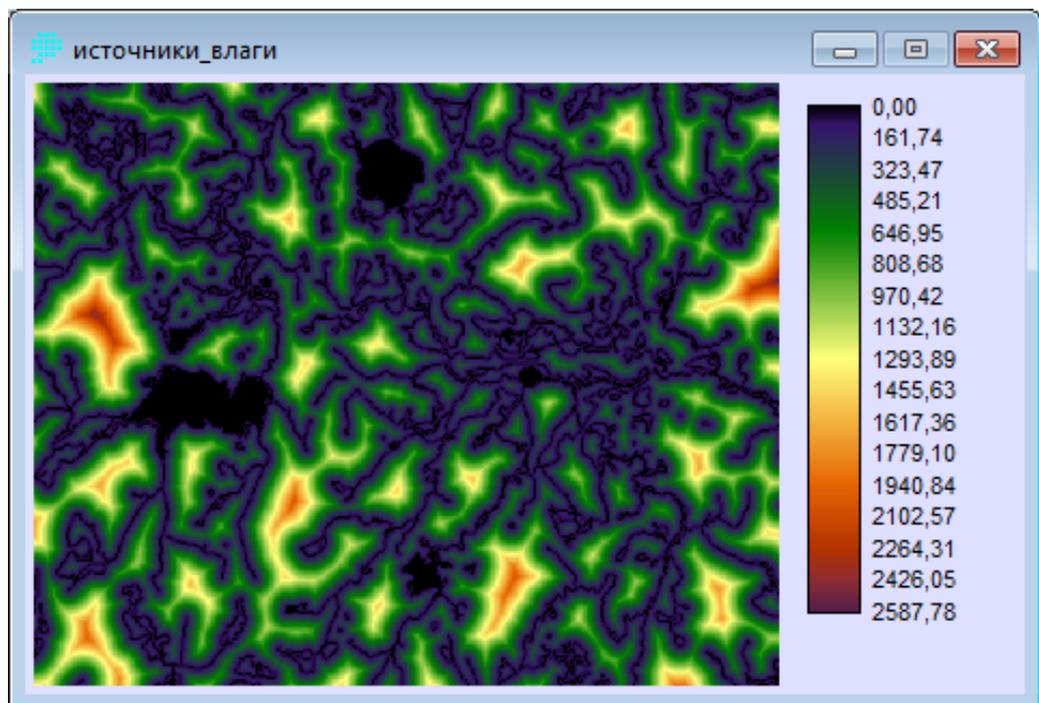


Рис. 3.16 Карта удалений от источников влаги

Затем была выделена буферная 100-метровая зона, в которой все ячейки были закодированы 0 (с помощью команды RECLASS). В этой зоне строительство метеорологической площадки запрещается. Зона, подходящая для расположения метеоплощадки, закодирована 1 и представлена на рисунке розовым цветом. Результат этих действий приведен на рисунке 3.17.

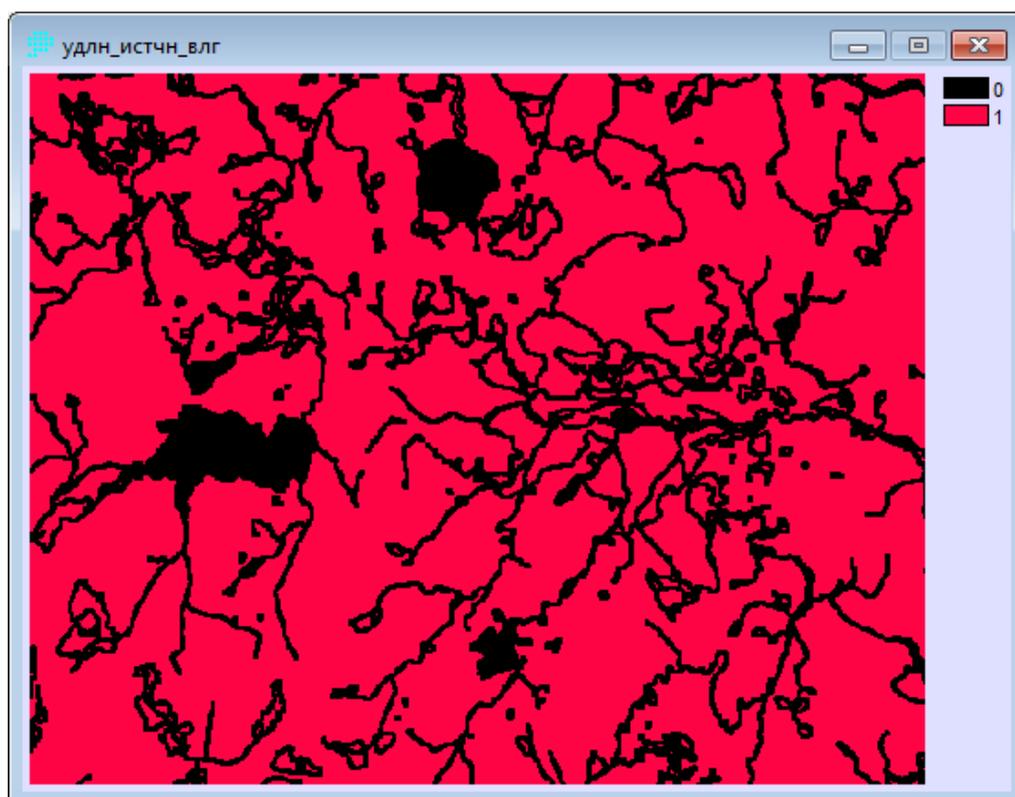


Рис. 3.17 Зона 100-метрового удаления от источников влаги

3.4.4. Определение удалений от значительных по протяженности препятствий

Метеоплощадка должна быть удалена от значительных по протяженности препятствий (лесов, больших групп построек, городских улиц и т.п.) на расстояние не меньше 20-кратной высоты этих препятствий. На имеющейся территории такими препятствиями являются зоны жилой застройки разной плотности, промышленная застройка, а также лесная зона, полученные путем реклассификации карты landuse91.rst, что иллюстрирует рисунок 3.18.

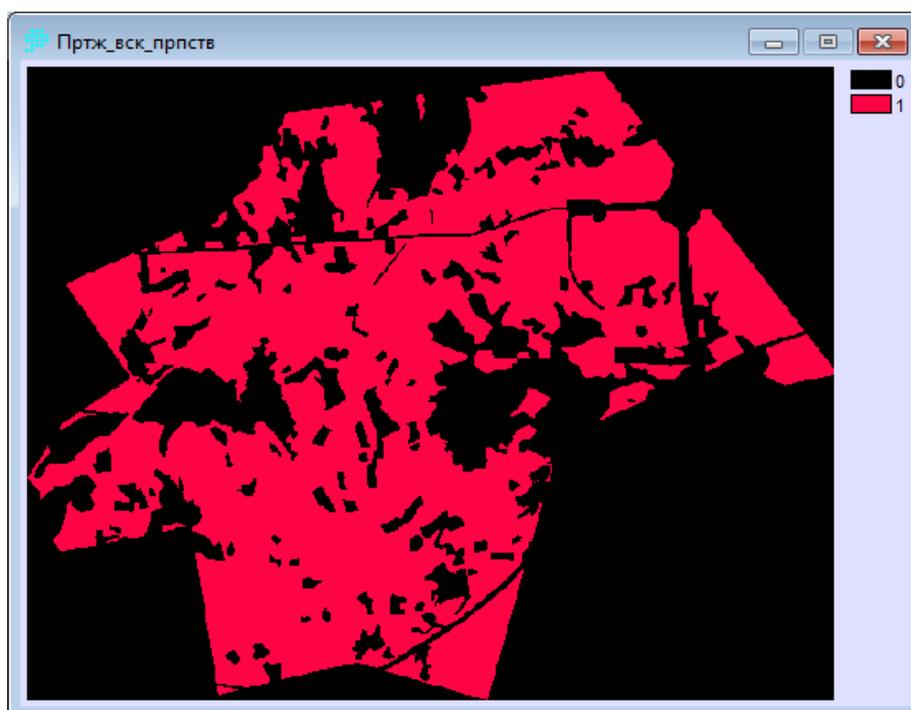


Рис. 3.18 Карта протяженных высоких препятствий

Для этих участков была взята средняя высота в 15 м. Следовательно, 20-ти кратной высотой будет являться высота 300 м. При определении нужных ячеек сначала на карте землепользования ячейки промышленной застройки и лесов были закодированы 1 (командой RECLASS), остальные 0. Далее с помощью команды DISTANCE были получены все удаления от этих ячеек. Карта удалений от лесов и промышленной застройки представлена на рисунке 3.19.

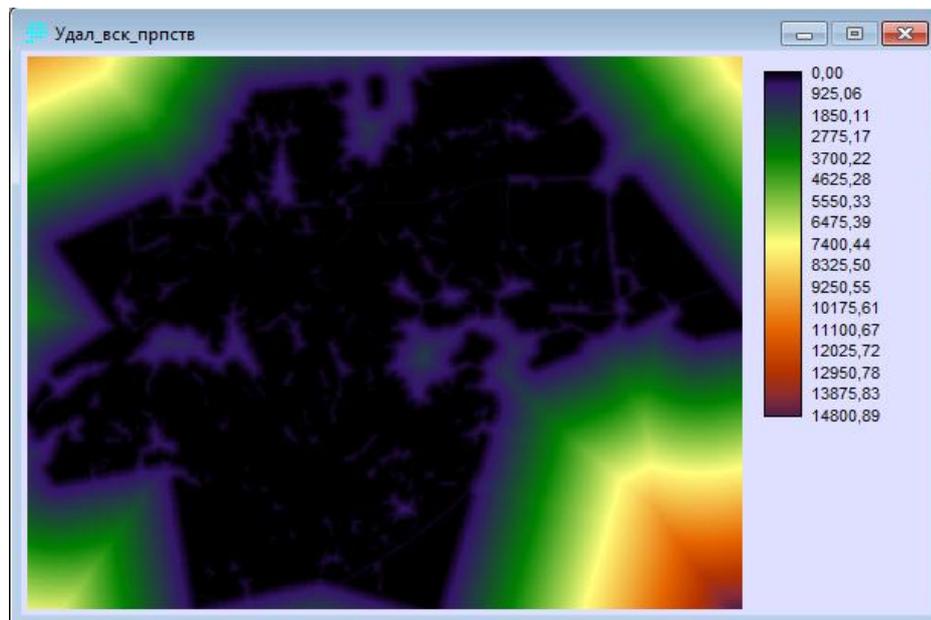


Рис. 3.19 Карта удалений от лесов, городской и промышленной застройки

Затем была получена 300-метровая буферная зона, в которой все ячейки были закодированы 0. Строительство площадки в этой зоне противоречит требованиям. Таким образом, была получена карта с зоной удалений от значительных по протяженности препятствий на рисунке 3.20.

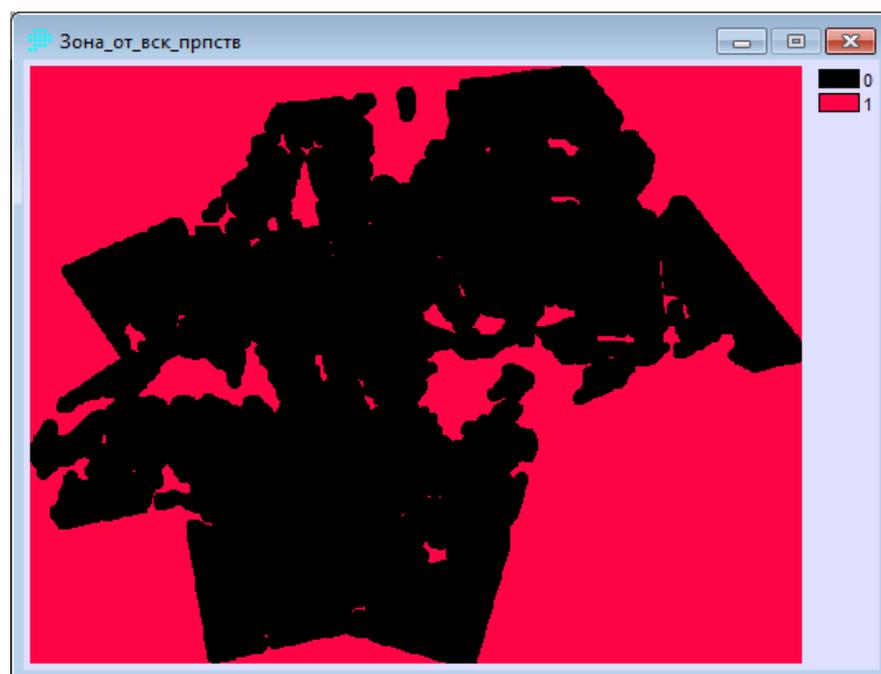


Рис. 3.20 Зоны удалений от значительных по протяженности препятствий

3.4.5. Определение удалений от невысоких отдельных препятствий

Следующее требование – метеорологическая площадка должна быть удалена от невысоких отдельных препятствий (одноэтажных построек, отдельных деревьев и. т. п.) на расстояние не меньше 10-кратной высоты этих препятствий. Положение таких препятствий можно установить по спутниковому снимку сверхвысокого разрешения для данной территории. В связи с трудоемкостью приведения карт к одному разрешению эта работа не была проделана, но была создана карта, показывающая возможность учета таких препятствий. Для этого был создан пустой векторный файл, в нем произвольно были определены места нахождения препятствий (процедурой DIGITAIZE). Карта нахождения отдельных точечных препятствий представлена на рисунке 3.21.

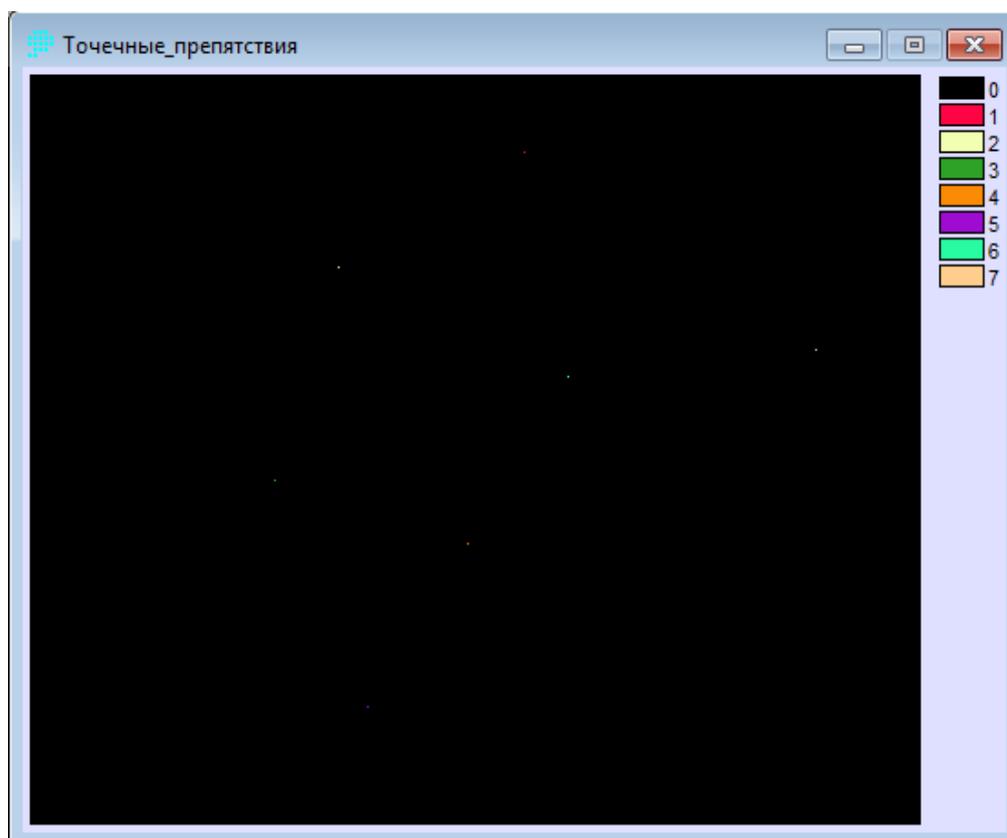


Рис. 3.21 Места нахождения отдельных препятствий

Далее была получена карта всех удалений от отдельно стоящих препятствий, представленная на рисунке 3.22.

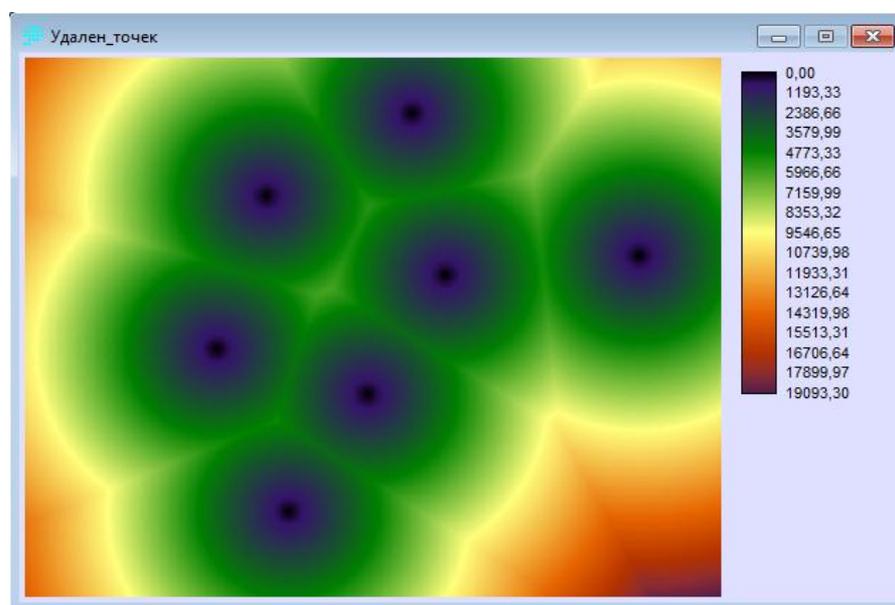


Рис. 3.22 Расстояние от отдельных препятствий

Затем была взята средняя высота препятствий в 10 м и найдена зона радиусом 100 м от этих препятствий. Участки, подходящие для строительства метеоплощадки закодированы 1 и представлены на рисунке 3.23 розовым цветом.



Рис. 3.23 Удаление от невысоких отдельных препятствий

3.4.6. Учет уклона местности

Метеорологическую площадку нельзя размещать вблизи глубоких оврагов, обрывов и других резких изломов рельефа. Для учета этого требования сначала была построена карта уклонов местности (с помощью команды SURFACE для карты DEM). Результат представлен на рисунке 3.24.

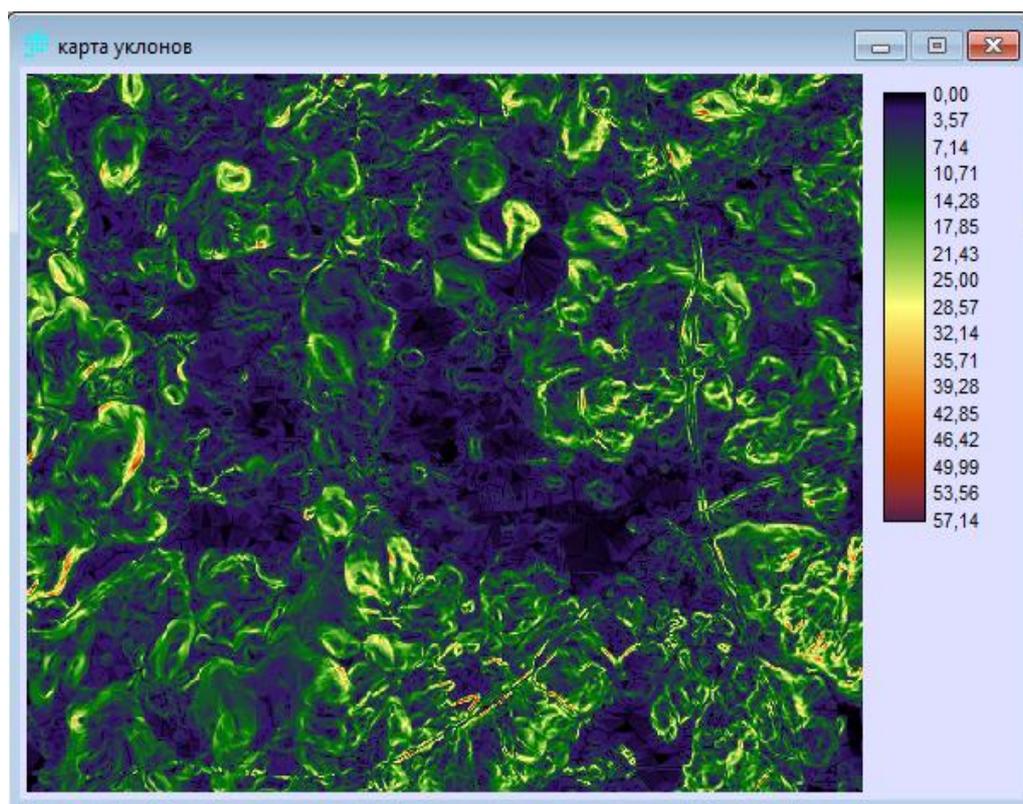


Рис. 3.24 Карта уклонов местности

Затем, с помощью команды RECLASS была выделена зона с уклоном менее 2% , ей соответствует розовый цвет. Карта представлена на рисунке 3.25.

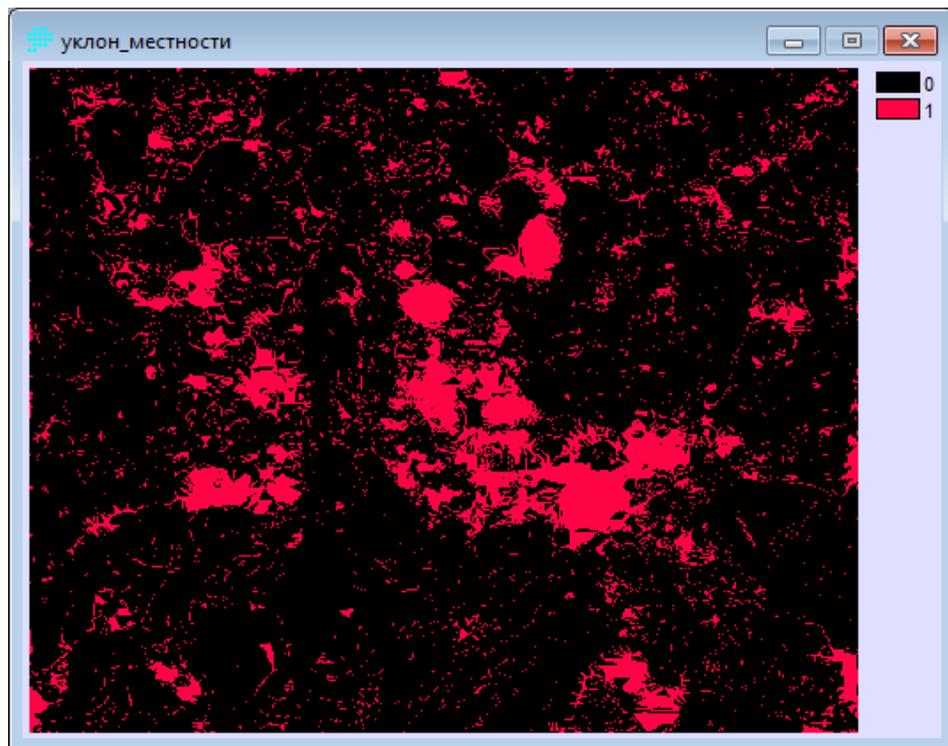


Рис. 3.25 Участки с уклоном местности менее 2%

3.5. Построение карты участков, подходящих для расположения автоматических метеостанций общего назначения

После построения карт участков, на которых соблюдались отдельные требования по постройке метеоплощадки, необходимо было получить карту участков, на которых соблюдались бы все требования. Это было сделано с помощью процедуры наложения слоев (команда OVERLAY). Полученные карты последовательно накладывались друг на друга, при этом типом операций наложения являлось умножение бинарных слоев. Итоговая карта представлена на рис 3.26.



Рис. 3.26 Итоговая карта

На этой карте розовым цветом показаны зоны, на которых возможно строительство метеоплощадки, черным – зоны, где строительство площадки невозможно, так как там не соблюдается один или несколько заданных критериев. Так как размер метеоплощадки 26*26 м, а размер пикселя на карте 65*65 м, то можно говорить о том, что любой цветной пиксель на карте является потенциальным местом для строительства как минимум четырех метеоплощадок.

3.6. Представление итоговой информации

Построенная итоговая карта является недостаточно информативной, так как на ней не представлены типы ландшафта и не виден рельеф. Чтобы обеспечить большую наглядность изображения, полученная карта была наложена на карту землепользования (процедурой OVERLAY), а результат был представлен в нескольких вариантах в трехмерном виде (командой ORTHO). Для каждой карты была подобрана определенная палитра, в

которой изображение выглядит наилучшим образом. Полученные в итоге карты дают наглядное представление о возможных местах расположения метеоплощадок и представлены на рисунках 3.27 – 3.31.

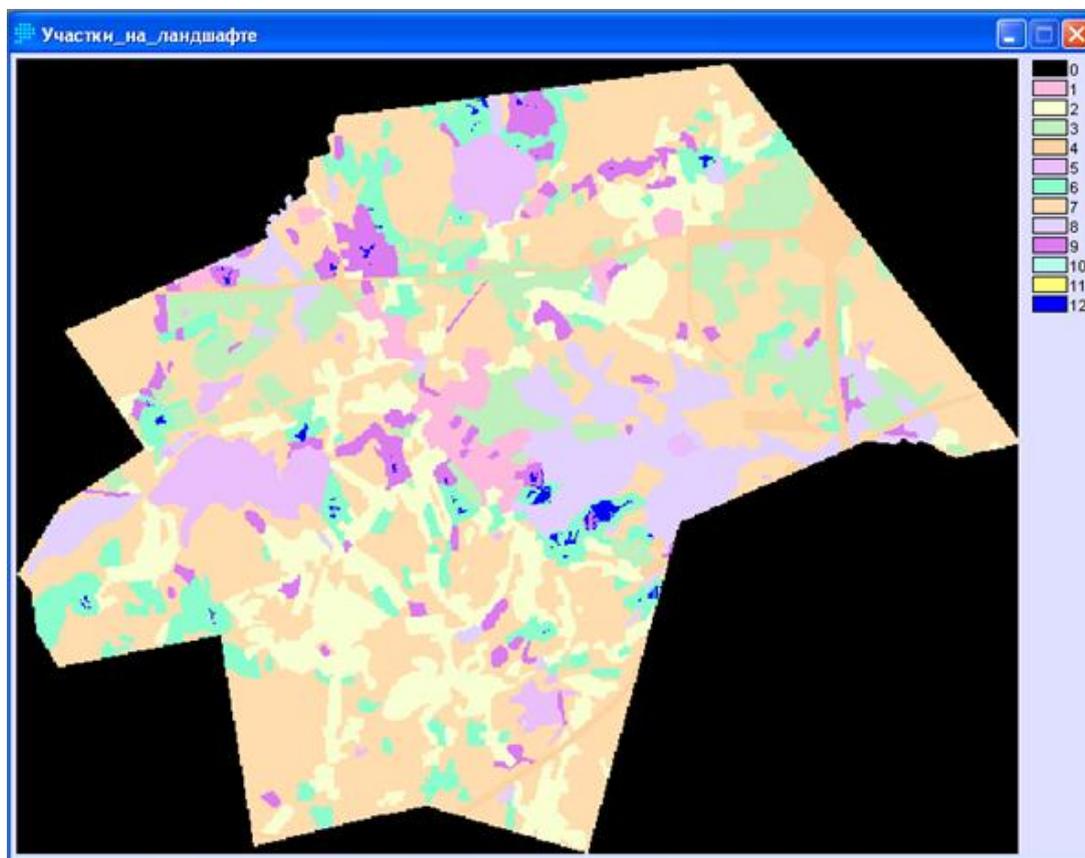


Рис. 3.27 Найденные участки на фоне карты землепользования

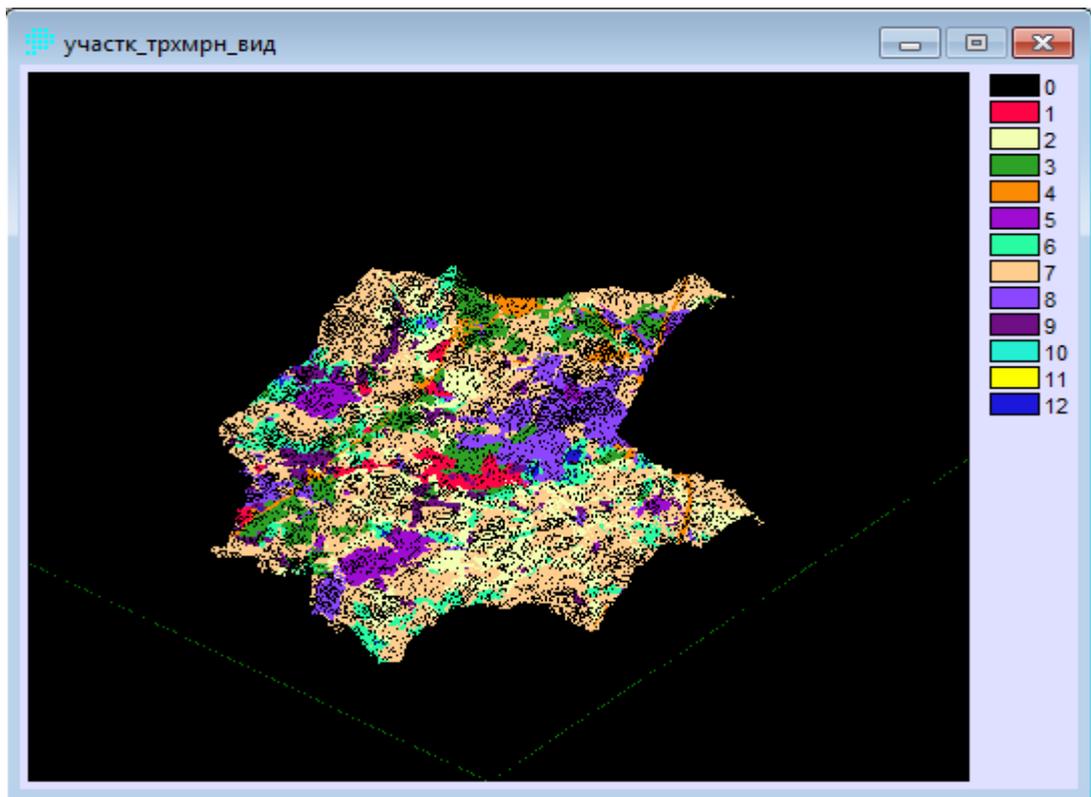


Рис. 3.28 Участки, подходящие для расположения мест установки автоматических метеостанций на фоне карты землепользования в трехмерном виде (выделены синим цветом)

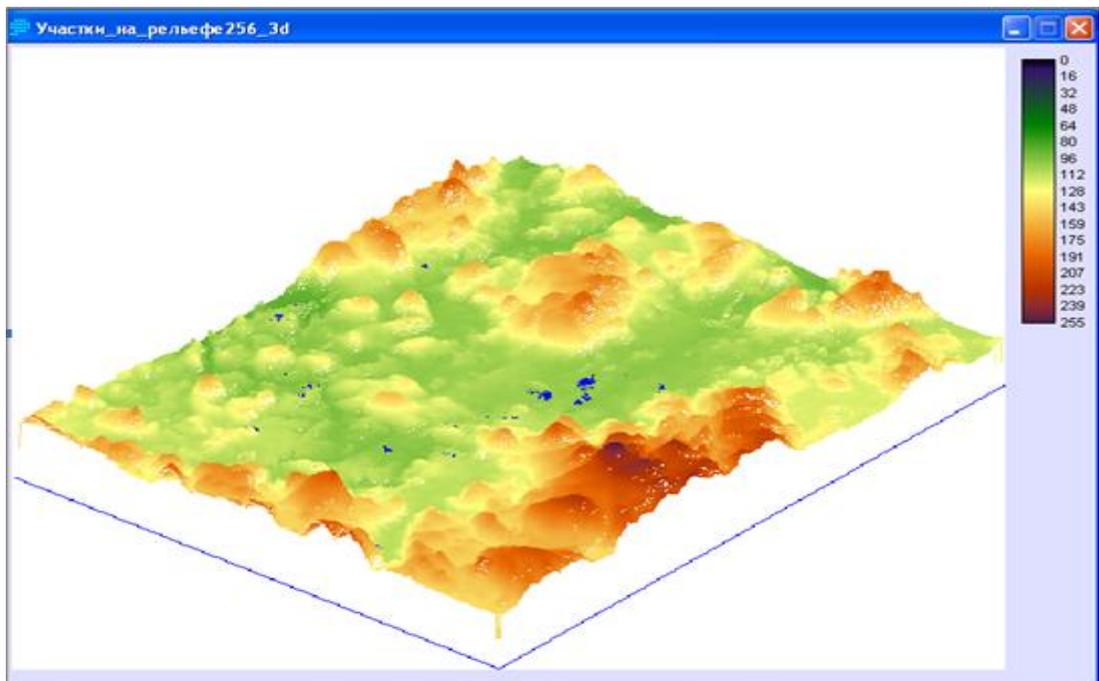


Рис. 3.29 Участки мест установки автоматических метеостанций на фоне рельефа в трехмерном виде (выделены синим цветом)

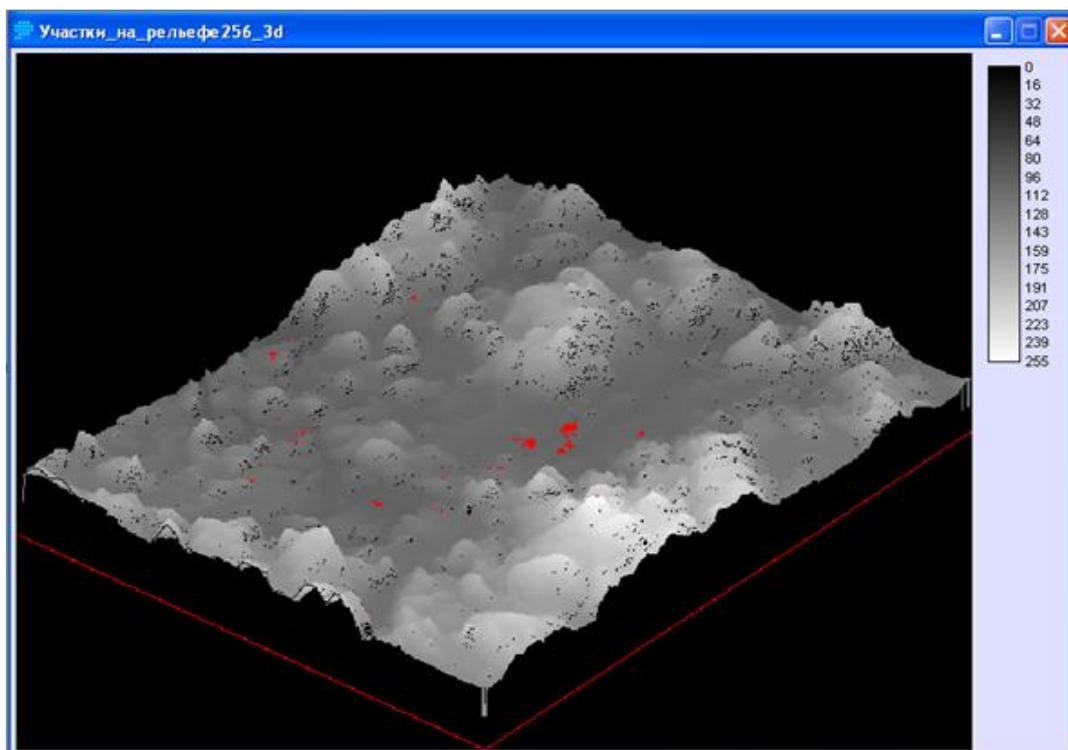


Рис. 3.30 Участки мест установки автоматических метеостанций на фоне рельефа в трехмерном виде (выделены красным цветом)

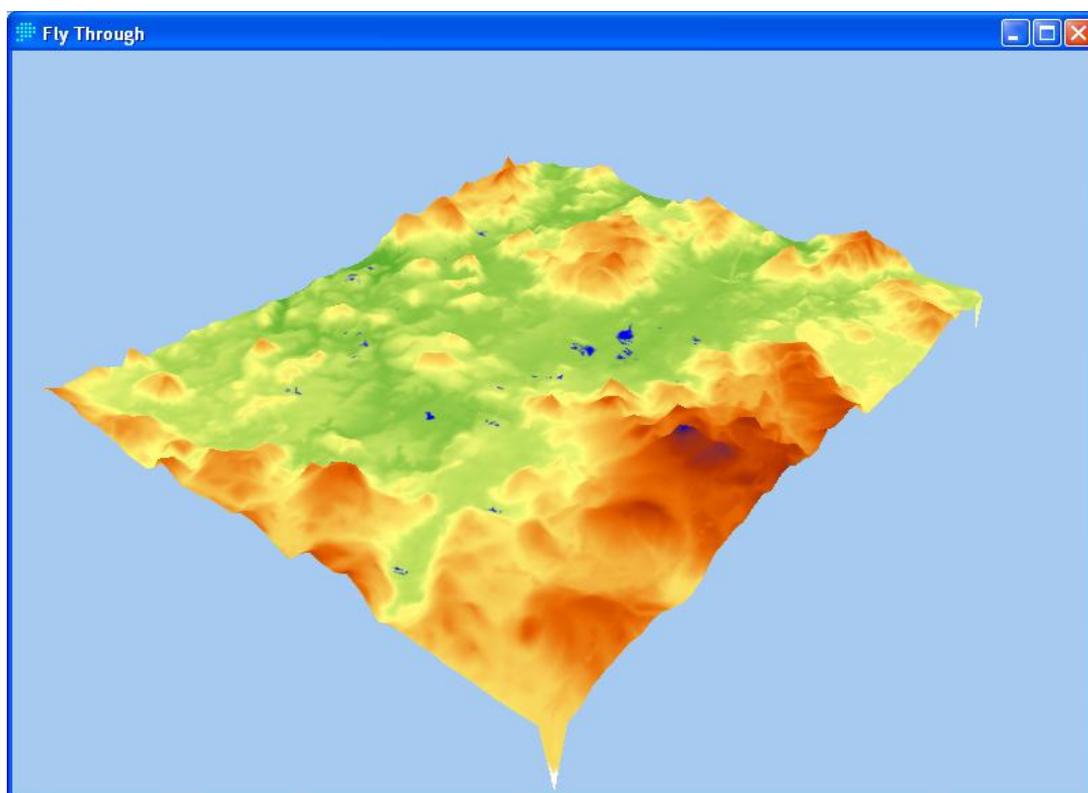


Рис. 3.31 Трехмерное изображение, полученное с помощью модуля Fly Through

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения данной работы получены основные выводы:

1. Были изучены различные типы представления метеорологической информации, рассмотрено устройство метеорологической площадки и требования, предъявляемые к ней.
2. Изучена концепция ГИС, их структура и классификация.
3. Получены навыки работы в ГИС IDRISI.
4. Изучена выбранная база данных района Уэстборо, штат Массачусетс, США.
5. Получены карты участков, на которых соблюдаются отдельные требования, выдвигаемые к местам установки автоматических метеостанций общего назначения.
6. Получена карта участков, на которых соблюдаются все требования к их расположению.
7. Средствами ГИС IDRISI были найдены участки, подходящие для расположения мест установки автоматических метеостанций общего назначения.
8. Итоговая карта совмещена со спутниковым снимком и с картой землепользования.
9. Окончательные карты представлены в трехмерном виде.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Хандожко Л. А. Экономическая метеорология. Учебник. — СПб.: Гидрометеиздат, 2005.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 616с.
3. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 3, ч. I. Метеорологические наблюдения на станциях. - Л.: Гидрометеиздат, 1985.
4. Автоматические метеорологические станции: в 2 т. / К.Л. Восканян, А.Д. Кузнецов, О.С. Сероухова. – Ч. 1. Тактико-технические характеристики: учебное пособие. – СПб.: РГГМУ, 2016. – 170 с.
5. Геоинформатика: Учебник для студ. вузов / Е.Г.Капралов, ГЗ5 А. В. Кошкарев, В. С. Тикунов и др.; Под ред. В. С.Тикунова. — М: Издательский центр «Академия», 2005. — 480 с.
6. Геоинформатика (в двух книгах). / Под ред. В.С. Тикунова. - М.: Академия, 2010.
7. Концепция ГИС [электронный ресурс] – режим доступа: <https://stampy.com/stamp/2029>, свободный.
8. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений.– М.: Логос, 2001. – 264 с.
9. Сероухова О.С. Лабораторный практикум по дисциплине «Геоинформационные системы». – СПб.: РГГМУ, 2007. – 116 с.
10. Кузнецов А.Д., Сероухова О.С., Симакина Т.Е. Применение ГИС-технологии при выборе позиции для размещения МРЛ // Материалы XXX всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред».- ВКА им. Можайского 18, 19 апреля 2017 г.