

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра автоматизированных систем управления (АСУ)

К ЗАЩИТЕ ДОПУСТИТЬ

Заведующий кафедрой АСУ

д-р техн. наук, профессор

_____ А.М. Кориков

« ____ » _____ 2019 г.

**ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА СЕЗОННО-ШИРОТНЫХ
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБЛАЧНОСТИ ПО
ДАНЫМ MODIS**

Бакалаврская работа

по направлению 09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»

Консультант, к.т.н., научный сотрудник

Института оптики атмосферы

им. В.Е. Зуева СО РАН

_____ А.В. Скороходов

« ____ » _____ 2019 г.

Студент гр. №435-3

_____ Я.К. Митрофаненко

« ____ » _____ 2019 г.

Руководитель,

профессор каф. АСУ, д.ф.-м.н.

_____ В.Г. Астафуров

« ____ » _____ 2019 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ (ТУСУР)

Кафедра автоматизированных систем управления (АСУ)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой АСУ

д-р техн. наук, профессор

_____ А.М. Кориков

« ___ » _____ 2019 г.

Задание

к бакалаврской работе студентки Митрофаненко Яне Константиновне,
группа 435-3, факультет систем управления

1 Тема работы: «Программная система для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности по данным MODIS» утверждена приказом по ВУЗу от « ___ » _____ 2019 г. № _____

2 Срок сдачи студентом законченной работы « ___ » _____ 2019 г.

3 Исходные данные к работе:

3.1 Техническое задание.

3.2 Список литературных источников по теме работы.

3.3 Данные MODIS для территории Западной Сибири за 2017 год

3.4 ОС ТУСУР 01–2013. Работы студенческие по направлениям подготовки и специальностям технического профиля. Общие требования и правила оформления.

4 Содержание расчетно-пояснительной записки / перечень подлежащих разработке вопросов:

4.1 Дистанционное зондирование облачного покрова из космоса

4.2 Порядок подготовки и описание исходных данных

4.3 Описание программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности по данным MODIS

4.4 Разработка и алгоритмы программного обеспечения

4.5 Результаты расчетов и их обсуждение

5 Перечень графического материала (с точным указанием обязательных листов презентации):

Цели и задачи работы

Введение в предметную область

Порядок подготовки и описание исходных данных

Функциональные требования к программной системе

Структура программной системы

Используемые средства разработки

Интерфейс программной системы

Результаты расчетов, основные выводы

6. Дата выдачи задания «___» _____ 2019 г.

Консультант к.т.н., научный сотрудник

Института оптики атмосферы

им. В.Е.Зуева СО РАН

_____ А.В. Скороходов

Руководитель,

профессор кафедры АСУ, д.ф.-м.н.

_____ В.Г. Астафуров

Задание принято к исполнению

«___» _____ 2019 г.

_____ Я.К. Митрофаненко

Реферат

Пояснительная записка к бакалаврской работе содержит 63 страницы, 35 иллюстраций, 8 таблиц, 22 источника, 3 приложения.

ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА, ТИП ОБЛАЧНОСТИ, ФИЗИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР, ПОЛЕ ОБЛАЧНОСТИ, СПУТНИКОВЫЙ СНИМОК, MODIS, ТЕКСТУРА, C++, MFC.

Объектом разработки является программная система для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности по данным MODIS

Целью работы - разработка программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей повторяемости и физических параметров облачности Западной Сибири по данным MODIS.

Область применения — программная система может быть применена на рабочих местах сотрудниками ИОА СО РАН и других организаций, занимающихся космическим мониторингом и метеорологическим прогнозированием.

Средой разработки является Microsoft Visual Studio 2014; используемый язык программирования - C++, библиотека MFC.

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе написана в текстовом редакторе Microsoft Word 2016.

Abstract

Explanatory note to the bachelor's work contains 63 pages, 35 illustrations, 8 tables, 22 sources, 3 applications.

PROGRAM SYSTEM, CLOUD TYPE, PHYSICAL PARAMETER, CLOUD FIELD, SATELLITE IMAGE, MODIS, TEXTURE, C ++, MFC.

The object of development is a software system for analyzing the seasonally-latitudinal regularities of the physical parameters of clouds according to MODIS

The goal of the work is to develop a software system for analyzing the seasonally latitudinal patterns of the frequency of occurrence and the physical parameters of the clouds of Western Siberia according to MODIS.

Application area - the software system can be applied at workplaces by employees of the IAO SB RAS and other organizations involved in space monitoring and meteorological forecasting.

The development environment is Microsoft Visual Studio 2014; programming language used is C ++, MFC library.

Explanatory note to the final qualifying work was written in a text editor Microsoft Word 2016.

Содержание

1	Введение.....	7
2	Дистанционное зондирование облачного покрова из космоса.....	9
2.1	Глобальное поле облачности и его влияние на климат.....	9
2.2	Классификация облачности.....	11
2.3	Повторяемость типов облачности на территории РФ на основе метеоданных.....	13
2.4	Спекторорадиометр и продукты MODIS.....	18
2.5	Основные характеристики облачности.....	23
2.6	Выводы к разделу.....	27
3	Порядок подготовки и описание исходных данных.....	28
3.1	Восстановление характеристик облачности по климатическим зонам.....	28
3.2	Классификация облачности с использованием технологии нейронных сетей и методов нечеткой логики.....	29
3.3	Выводы к разделу.....	31
4	Описание программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности по данным MODIS.....	33
4.1	Функциональные требования к программной системе.....	33
4.2	Структура программной системы.....	35
4.2.1	Моделирование работы программной системы.....	35
4.2.2	Описание логической структуры программной системы.....	38
4.3	Используемые средства разработки.....	40
4.4	Интерфейс и руководство пользователя.....	41
4.5	Выводы к разделу.....	46
5	Результаты расчетов и их обсуждение.....	48
5.1	Повторяемость основных типов облачности на территории Западной Сибири.....	48
5.2	Сезонно-широтные закономерности физических параметров облачности.....	50
5.3	Выводы к разделу.....	53
6	Заключение.....	54
7	Список использованных источников.....	56
	Приложение А. Морфологическая классификация облачности.....	58
	Приложение Б. Диаграммы повторяемости облачности на территории РФ на основе метеорологических данных.....	60
	Приложение В – Повторяемость облачности на территории Западной Сибири на основе спутниковых данных.....	63

1 Введение

Глобальное поле облачности является одним из основных составляющих климатической системы Земли и участвует в различных процессах, протекающих в ней, таких как перенос радиации, циркуляция влаги и т.п. Облачность влияет на флуктуации значений физических параметров атмосферы и подстилающей поверхности. При этом структура глобального поля облачности является неоднородной. Согласно стандарту всемирной метеорологической организации (ВМО) облака классифицируются на 27 разновидностей, включая 10 основных типов, их подтипы и некоторые сочетания на основе морфологического описания приведенного в Атласе облаков [1]. Каждый тип облачности оказывает свое локальное воздействие на процессы, протекающие в системе «атмосфера-подстилающая поверхность».

Фактические сведения об атмосфере, погоде и климате дают наблюдения, как наземные, так и спутниковые. Анализ результатов таких наблюдений служит в метеорологии и климатологии средством выяснения причинных связей в изучаемых явлениях. Но ни один из способов наблюдений не лишен недостатков. Спутники позволяют проводить наблюдения в тех районах, которые слабо освещены наземными наблюдениями (океаны, пустыни и горные массивы, полярные и малообжитые районы), но существует проблема идентификации и классификации облачности на снимках.

В настоящее время актуальными являются исследования, направленные на изучение региональных особенностей протекания различных атмосферных процессов и связанных с ними явлений, к которым относится и облачность. Особый интерес представляют исследования для Западной Сибири, расположенной сразу в нескольких климатических поясах и охватывающей большое число природных зон.

Цель выпускной квалификационной работы – разработка программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей повторяемости и физических параметров облачности Западной Сибири по данным MODIS.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- изучение предметной области;
- анализ сезонно-широтных закономерностей распределения различных разновидностей облаков и их характеристик на основе метеоданных;

- проектирование программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей повторяемости и характеристик облачности на основе результатов спутниковой съемки;
- выбор средств разработки спроектированной программной системы;
- разработка программной системы;
- подготовка набора исходных данных для тестирования разработанной программной системы;
- тестирование программной системы и анализ полученных данных.

Зная годовой ход характеристик различных типов облачности за несколько лет, можно не только оценивать их изменчивость, но и определять преобладающие атмосферные процессы в регионе. Каждый тип облачности формируется под воздействием определенного атмосферного процесса. Полученные результаты можно сопоставить с результатами измерений других параметров, например, углерода, и сделать вывод относительно их взаимосвязи, что даст возможность оценить климатические изменения, происходящие в рамках одного конкретного региона. Проведение аналогичных исследований для других территорий позволит сравнить вклад каждой из них в общую климатическую систему Земли. На основании этого могут быть приняты управленческие решения, относительно предотвращения будущих негативных изменений и нивелирования существующих.

2 Дистанционное зондирование облачного покрова из космоса

2.1 Глобальное поле облачности и его влияние на климат

Облака являются наиболее изменчивой компонентой климатической системы, и при этом они играют важную роль в энергетике атмосферы. С одной стороны, они отражают в среднем 20% солнечного излучения, то есть с той стороны Земли, где день, они её охлаждают. Научные расчеты показывают, что этот эффект очень значим. Если глобальная степень облачности увеличится примерно на два процента, повышение степени отражения солнечных лучей может компенсировать потепление, вызванное высвобождением углерода в результате человеческой деятельности. Кроме того, облака также сдерживают около 10% собственного излучения Земли как ночью, так и днем. Поэтому, так легко объяснить роль облаков в общей климатической системе. Однако из-за недостатка информации об облаках, специалистам трудно делать прогнозы последствий парникового эффекта.

Разные типы облаков по-разному отражают солнечные лучи и инфракрасное излучение Земли, впитывают и выпускают их. Даже если из-за глобального потепления общая степень облачности относительно Земли не изменится, может измениться общее распределение некоторых видов облаков. В зависимости от этого, парниковый эффект может увеличиться или уменьшиться.

Именно это является одной из наибольших препятствий не только для прогнозирования погоды, но и для оценки степени изменения земного климата. Поэтому, собственно, в 2007 году Международная группа экспертов по изменению климата (IPCC – International Panel on Climate Change) в своем докладе [2] подтвердила, что эти ограниченные знания об образовании и поведении облаков являются наибольшей погрешностью в прогнозировании глобального потепления. Известный факт: с более теплой поверхности земли испаряется больше влаги. Но это вовсе не означает, что облачность в целом увеличивается, ведь из-за высокой температуры воздуха она может удерживать больше влаги. Кроме того, изменения климата зависят не только от изменений общей степени облачности [1,2].

Имеются определенные изменения в распределении различных видов облаков. Мощные кучево-дождевые облака влияют на парниковый эффект, тонкие перистые облака имеют влияние несколько меньшее, а низкие тонкие слои облаков – почти не влияют. Эта неточность позволила Стефану Е.Шварцу в [3] из Брукхейвенской национальной лаборатории в 2008 году сделать вывод, что и по сей день мы не можем сказать наверняка, какое количество минеральных ресурсов следует использовать, чтобы достичь определенной верхней грани глобальной температуры.

Перисто-кучевые облака, известные как занавесные облака, возникают тогда, когда большие массы теплого воздуха поднимаются, охлаждаются и конденсируют влагу. Таким образом, эти облака состоят преимущественно из кристаллов льда. Для более влажных территорий характерно большее количество осадков, в то время как для засушливых – меньшее количество. Прямой связи между долговременными выбросами аэрозолей и парниковых газов, с одной стороны, и облаками с осадками – с другой, до сих пор не обнаружено. Прежде всего, это объясняется недостатком данных об аэрозолях и облаках.

Перистые облака, состоящие исключительно из льда, находятся на значительной высоте. Даже при наличии качественных данных со спутников было бы очень трудно определить антропогенное воздействие человеческой деятельности на образование облаков. Причиной являются собственные свойства атмосферы – в крупном масштабе нижние слои атмосферы ведут себя не стабильно. Через широкие горизонтальные и вертикальные переносы воздуха и тепла сильно варьируется тип и степень облачности.

Процессы регионального перемещения воздушных масс, как и термодинамические процессы, влияют не только на образование облаков, но и на твердые частицы, находящиеся в этих же воздушных массах. Поэтому облака и аэрозоли часто меняются параллельно друг другу. Это может вызвать ложное утверждение о том, что между свойствами пыли и облаков существует причинная связь. С другой стороны, вполне возможно, что процессы, происходящие в облаках, подвергаются воздействию антропогенных частиц пыли. Поэтому нельзя наверняка утверждать, каким образом частицы пыли влияют на альбедо облаков, степень облачности и осадков.

Помимо кристаллов льда в облаках встречаются газы, частицы аэрозолей и капли воды. Большое количество воды остается в жидком состоянии из-за отсутствия центров кристаллизации, но из-за низкой температуры вся вода должна бы замерзнуть. Незначительное количество кристаллов льда, находящихся в охлажденных облаках, увеличивается за счет капель до тех пор, пока они не начнут падать, унося с собой другие кристаллы и капли. Внутри самих облаков и на пути между облаками и земной поверхностью они тают в теплой воздушной массе. Это – самый распространенный способ образования осадков [4].

В крупных лабораториях, таких как AIDA при технологическом центре Карлсруэ, ученые исследуют условия формирования облаков в масштабе до десяти метров [3]. При этом их в первую очередь интересует роль аэрозолей как ядер конденсации. Более глубокое понимание сущности ледяных облаков является очень важным, поскольку на их образование существенно влияет человеческая деятельность. Наибольшее движение воздушных масс

наблюдается у верхней границы тропосферы. При благоприятных условиях перистые облака, обусловленные движением самолетов, могут укрывать значительные части неба в участках, где воздушное движение очень активно. Это в 2005 году в своих исследованиях выяснил Ульрих Шуман из Института атмосферной физики при Немецком центре авиационно-космического движения [5].

Таким образом, облака, вследствие своего высокого альбедо играют критическую роль, но она до сих пор еще точно не определена в количественном отношении в энергобалансе земли из-за несовершенства существующих методик. Детальные прогнозы относительно масштабов глобального потепления можно ожидать только тогда, когда будет лучше изучен механизм сложного взаимодействия облаков с другими элементами системы Земли [6].

2.2 Классификация облачности

Формы облаков и последовательность их смены позволяют судить о приближении барических образований и фронтов, являются индикаторами стадии их развития. По формам облаков часто можно сделать заключение о вертикальном профиле температуры в атмосфере, о степени турбулентности воздушных течений на высотах, о положении струйных течений и характере температурной адвекции [7].

Внешний вид облаков очень разнообразен и определяется характером процессов, приводящих к их образованию. Для систематизации, описания и распознавания облаков по их внешним признакам ВМО принята международная морфологическая классификация, согласно которой все облака делятся на 10 основных форм:

1. Перистые – Cirrus (Ci).
2. Перисто-кучевые – Cirrocumulus (Cc).
3. Перисто-слоистые – Cirrostratus (Cs).
4. Высококучевые – Altocumulus (Ac).
5. Высокослоистые – Altostratus (As).
6. Слоисто-кучевые – Stratocumulus (Sc).
7. Слоистые – Stratus (St).
8. Слоисто-дождевые – Nimbostratus (Ns).
9. Кучевые – Cumulus (Cu).
10. Кучево-дождевые – Cumulonimbus (Cb).

В зависимости от высоты расположения основания облаков их условно относят к одному из ярусов: нижнему, среднему или верхнему. Основание облаков верхнего яруса

находится в полярных широтах на высотах от 3 до 8 км, в умеренных широтах – от 6 до 13 и в тропических широтах – от 6 до 18 км; среднего яруса – соответственно от 2 до 4, от 2 до 7 и от 2 до 8 км; нижнего яруса на всех широтах – от земной поверхности до 2 км [8]. В особую группу выделяют облака вертикального развития (конвективные), нижняя граница которых в большинстве случаев находится в нижнем ярусе, а верхняя – в нижнем, среднем или верхнем ярусе.

К облакам верхнего яруса относятся перистые, перисто-кучевые и перисто-слоистые облака. К облакам среднего яруса относятся высококучевые, высокослоистые и слоисто-дождевые облака. К облакам нижнего яруса относятся слоистые и слоисто-кучевые облака. Кучевые и кучево-дождевые облака относятся к облакам вертикального развития.

Кроме описанных выше 10 форм, классификацией ВМО определены дополнительные формы облаков, которые наблюдаются вместе с основной формой. Для некоторых облаков характерны дополнительные особенности [1,5].

В случае, когда облака образовались в результате формирования или разрушения части другого облака, в классификации ВМО предусмотрена возможность дать дополнительное определение, указывающее на происхождение облака. Для этого к названию формы основного облака прибавляется термин «genitus». Например, слоисто-кучевое (Stratocumulus), образовавшееся в результате растекания основного кучевого облака (Cumulus), называется Stratocumulus Cumulusgenitus.

При наблюдении за облаками сначала определяют их форму (например, перистые облака – Cirrus, Ci), затем вид (нитевидные – fibrates, fib); все особенности облаков описываются при помощи разновидностей (например, перепутанные – intortus, int). При описании название вида и разновидности присоединяется к названию основной формы облака (например, кучевые средние облака с шапкой - Cumulus mediocris pileus, Cu med.pil., высококучевые хлопьевидные облака с полосами падения - Altocumulus floccus virga, Ac floc. vir.). Таким образом, из имеющихся в классификации ВМО терминов можно составить комбинацию, которая будет наиболее полно описывать облако со всеми его особенностями [7].

В российской классификации облаков, применяемой в настоящее время, используются более жесткие правила: определяется форма облаков, вид и соответствующая только этому виду разновидность, причем разновидности взаимно исключают друг друга. Дополнительные формы облаков и дополнительные особенности не выделяются, а внесены в классификацию в качестве разновидностей. Кроме того, в российской классификации существуют виды и разновидности облаков, отсутствующие в классификации ВМО. Так,

например, в качестве вида перисто-кучевых, высококучевых и слоисто-кучевых облаков выделены кучевообразные облака (*cumuliformus*, *cuf.*), разновидностями слоисто-кучевых облаков являются растекающиеся дневные (*diurnalis*, *diur.*) и растекающиеся вечерние (*vesperalis*, *vesp.*) облака, разновидностью слоистых облаков являются разорванно-дождевые облака (*Fractonimbus*, *Frb.*).

В метеорологической сети для определения форм облаков применяется морфологическая классификация. Основные отличительные признаки для определения формы облаков – их внешний вид и структура. Типы, подтипы и сочетания облачности в соответствии с морфологической классификацией представлены в приложении А.

2.3 Повторяемость типов облачности на территории РФ на основе метеоданных

Для общего представления о количестве, изменчивости и географическом распределении форм облаков, а также их связи с атмосферными процессами была исследована повторяемость различных типов облачности для климатических зон по данным метеостанций на территории РФ. Для исследования из полного перечня природных зон была исключена зона лесостепи, так как это переходная природная зона от тайги к степи, но была добавлена зона болот, в связи с тем, что болота занимают обширную территорию России. В результате рассматривались данные метеостанций тундры, болот, тайги, Арктики и степей. Перечень выбранных метеостанций представлен в таблице 1.1.

Рассматриваемые метеостанции представлены на карте РФ (см. рис. 1.1).

Таблица 1.1 – Список метеостанций, выбранных для исследования

Обозначение на карте	Синоптический индекс	Название метеостанции	Широта, °	Долгота, °	Высота над уровнем моря, м
ТУНДРА					
 1	20292	Обсерватория Федорова Мыс Челюскин	77,7	104,3	15
 2	25563	Анадырь город	64,8	177,6	61
 3	21982	Остров Врангеля	71	-178,5	5
БОЛОТА					
 4	23847	Сытомино	61,3	71,3	33
 5	23657	Ноябрьск	63,2	75,4	120
 6	23471	Нижневартовск	60,8	76,7	44
 7	23465	Красноселькуп	65,7	82,5	60
ТАЙГА					
 8	29553	Боготол	56,2	89,6	291
 9	24641	Вилуйск	63,8	121,6	111
 10	29430	Томск	56,5	84,9	139
СТЕПЬ					
 11	36038	Змеиногорск	51,2	82,2	355
 12	28797	Одесское	54,2	73	125
 13	29827	Баево	53,3	80,8	122
 14	34646	Цимлянск	47,6	42,1	65
АРКТИКА					
 15	22003	Вайда-Губа	69,9	32	8
 16	20069	Остров Визе	79,5	77	10

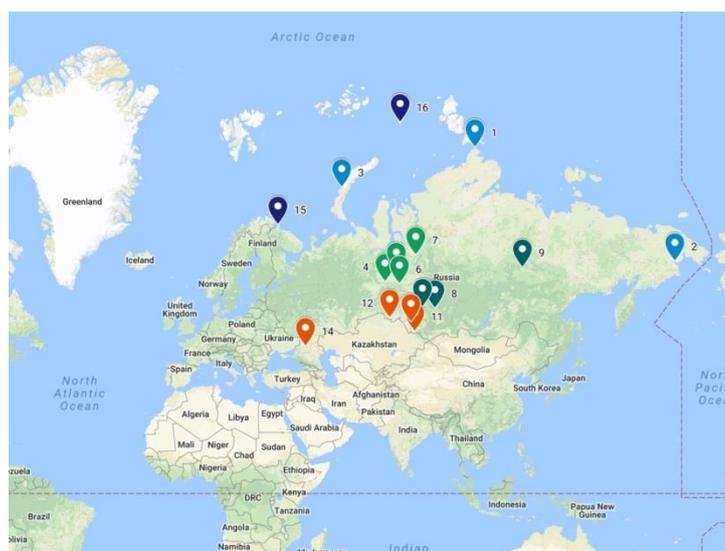


Рисунок 1.1 – Выбранные для исследования метеостанции на территории РФ

Основой для приводимых в этом разделе сведений о количестве облаков послужили радиограммы с однослойной облачностью, которые извлекались с сервера OGIMET [9] за период: лето 2017 – весна 2018. В результате было выявлено 11652 радиограмм, когда на метеостанциях фиксировалась только однослойная облачность или облака вертикального развития, распределение которых по природным зонам представлено в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Объем выборки радиограмм с фиксированной однослойной облачностью

	Летний период	Осенний период	Зимний период	Весенний период	Всего
Арктика	166	283	497	502	1448
Тундра	427	559	514	483	1983
Болота	994	577	560	857	2938
Тайга	725	554	716	229	2224
Степь	865	688	760	746	3059
Всего	3177	2661	3047	2817	11652

Важно отметить, что в конце сентября в Арктике начинается полярная ночь, которая продолжается порядка 178 суток. В это время проведение метеорологических исследований ограничено, а формирование изображений облачности со спутника становится невозможным.

В ходе анализа метеорологических радиограмм, было определено, что наиболее встречающимися на верхнем ярусе являются перистые волокнистые (Ci fib), на среднем – высококучевые просвечивающие облака (Ac trans), на нижнем – слоисто-кучевые волнистообразные облака (Sc und) и кучево-дождевые волосатые (Cb cap). Распределение наиболее повторяющихся типов по сезонам и климатическим зонам приведено в таблице 1.3.

Диаграммы распределения частоты появления однослойной облачности по природным зонам и сезонам представлены в приложении Б.

Таблица 1.3 – Наиболее повторяющиеся типы облачности по данным радиограмм

Арктика	Sc Und	Cb cap	Ac trans	Ci unc
Летний период	44	56	13	38
Осенний период	117	82	31	40
Зимний период	163	131	99	92
Весенний период	90	136	69	158
Тундра	Sc Und	Cb cap	Ac trans	Ci unc
Летний период	110	90	38	105
Осенний период	187	121	115	89
Зимний период	54	69	194	167
Весенний период	57	61	57	267
Тайга	Sc Und	Cb cap	Ac trans	Ci unc
Летний период	37	67	65	354
Осенний период	87	77	82	198
Зимний период	38	72	61	400
Весенний период	46	27	13	84
Болота	Sc Und	Ci floc	Ac trans	Ci unc
Летний период	158	79	199	213
Осенний период	212	31	123	87
Зимний период	42	109	112	191
Весенний период	107	79	186	337
Степь	Sc Und	Cb cap	Ac trans	Ci unc
Летний период	44	26	116	199
Осенний период	109	18	62	174
Зимний период	76	17	45	195
Весенний период	69	45	65	201

Общие данные по повторяемости рассматриваемых типов облачности, согласно таблице 1.3, представлены на диаграммах (см. рис. 1.2).

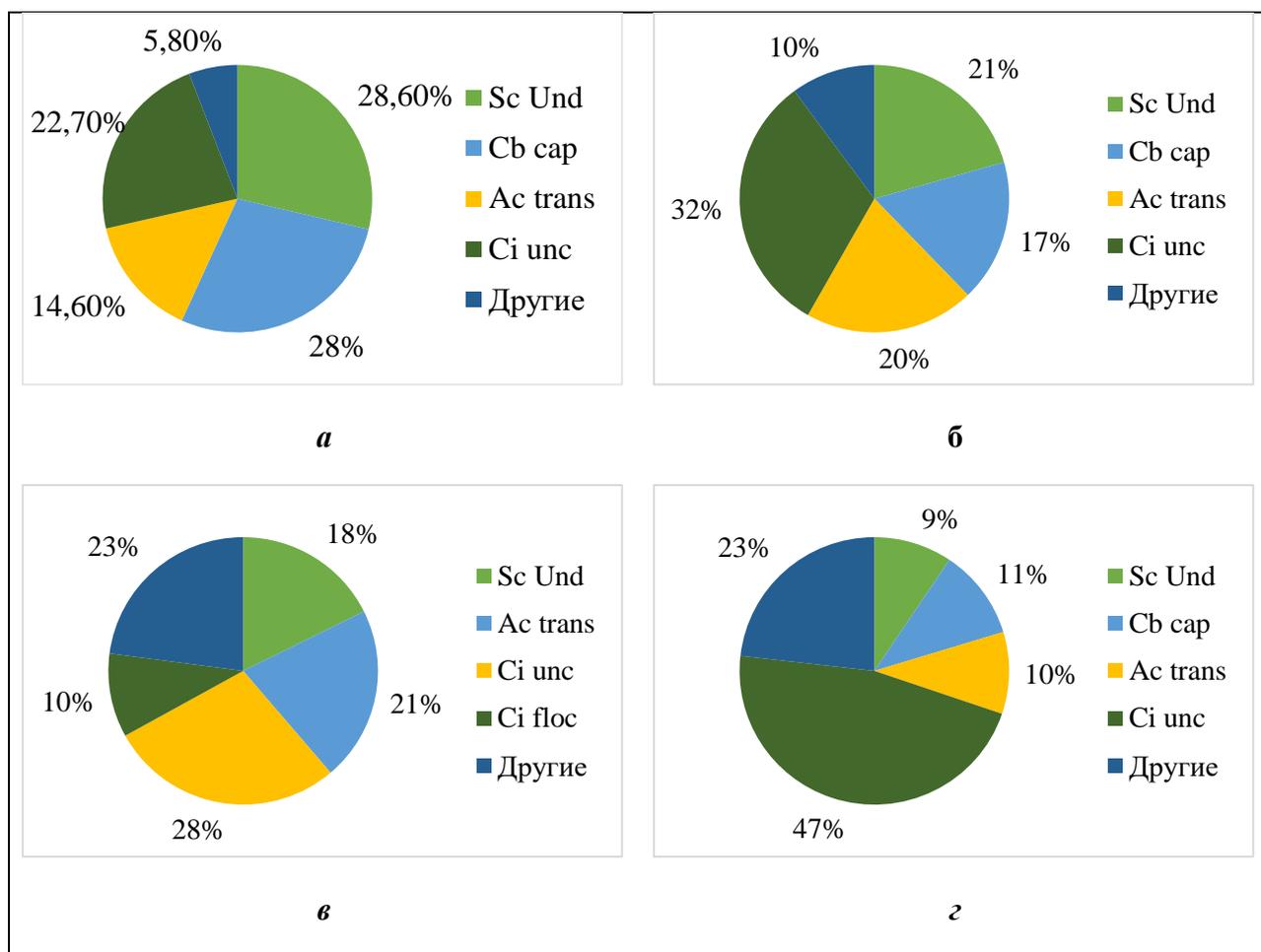


Рисунок 1.2 – Диаграммы повторяемости облачности на основе метеонаблюдений: а - повторяемость облачности в Арктике, б - повторяемость облачности в тундре в - повторяемость облачности для болот, г – повторяемость облачности для тайги

Над болотами, как в тундре и Арктике, в летний период и межсезонье преобладают слоисто-кучевые волнистообразные (Sc Und) на нижнем ярусе. Ситуация здесь меняется зимой – на смену слоисто-кучевым облакам приходят высококучевые (Ac), образовавшиеся из кучевых (Ac sig). Согласно данным метеорологических наблюдений, в зимний период на нижнем ярусе Sc Und наблюдались 42 раза, а Ac sig – 61.

Особенностью климата степей является засушливость (количество осадков в течение года составляет менее 400 мм.), преобладание ветреной погоды, это обуславливает быстрое передвижение облачных масс, поэтому здесь сложно выделить часто встречаемые типы облаков в течение года.

Для степных территорий характерно преобладание слоисто-кучевых волнистообразных (Sc Und) облаков на нижнем ярусе, высококучевых волнистообразных просвечивающих (Ac trans) – на среднем, перистых волокнистых когтевидных (Ci unc) – на верхнем.

В целом, наблюдения с земли обладают рядом недостатков: неравномерное распределение по земному шару метеорологических станций и слабое освещение

наблюдениями обширных районов Земли (прежде всего, океанов, и южного полушария в целом), затруднения в оценке облачности в нижней части горизонта, отсутствие на многих станциях наблюдений в ночные сроки.

2.4 Спекторорадиометр и продукты MODIS

К настоящему времени с помощью спутников уже получено такое количество данных об облаках, которое значительно (особенно для районов Мирового океана и удаленных участков суши) превосходит число наземных наблюдений.

Спекторорадиометр MODIS (MODerate-resolution Imaging Spectroradiometer) – это гиперспектральная система на бортах спутников NASA Terra (запущен в 1999) и Aqua (запущен в 2002). Данные MODIS по всей поверхности Земли поступают в 36 спектральных зонах (в диапазоне 0.405-14.385 мкм) с разрешением 250, 500 или 1000 м на пиксель (это означает, что каждое значение интенсивности в каком-либо канале соответствует интенсивности участка с размерами 250×250 м, 500×500 м или 1000×1000 м).

Данные сохраняются в формате HDF. Файлы содержат информацию о местоположении спутника, времени съемки и изображение участка Земли в нескольких спектральных каналах с разным разрешением. Структура названия таких файлов для MODIS имеет следующий вид

ESDT.AYYYYDDD.TTTT.CCC.YYYYDDDDHHMMSS.hdf,

где – ESDT (Earth Science Data Type) – название тематического продукта, YYYYYDDD – дата съемки: год (YYYY) и дата по Юлианскому календарю (DDD: 1, 2, ... 365), TTTT – время съемки (UTC), CCC – номер коллекции (версии данных) и YYYYDDDDHHMMSS – дата обработки фрагмента (год, дата, время). Систему MODIS можно представить как совокупность датчиков, калибраторов и сканирующих зеркал (см. рис. 1.3).

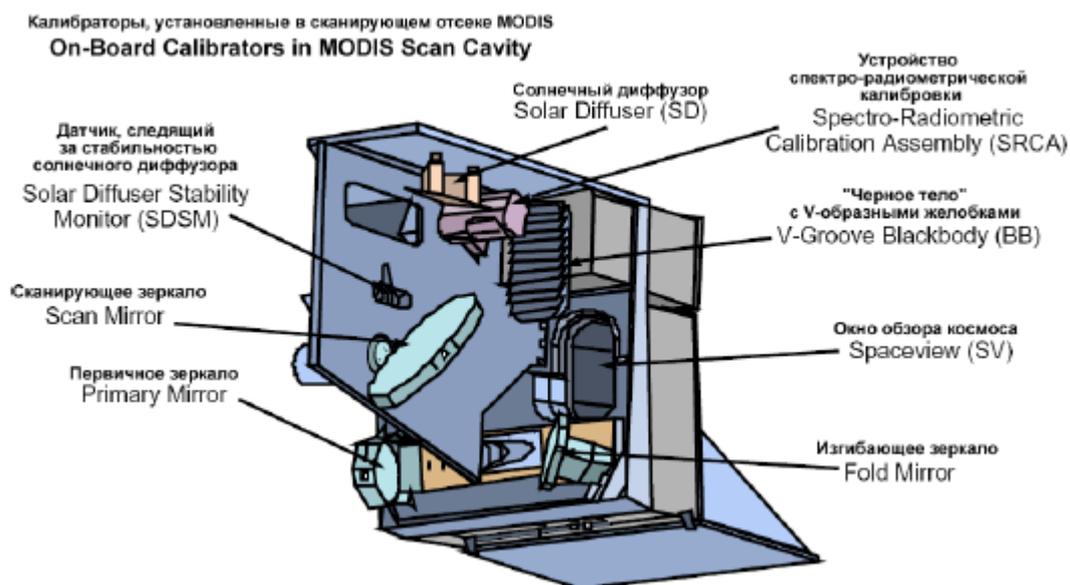


Рисунок 1.3 – Система MODIS как совокупность сканирующих датчиков

Ширина полосы захвата (см. рис 1.4) сканирующего радиометра MODIS (именуемого «сканер») составляет 2330 км. Реально используется средняя часть съемки (5), без краевых сильно искаженных областей (6). Полоса приемлемого качества составляет около 1500 км. Наилучшее качество данных вблизи осевой линии (1). Нарезка на куски (сцены) происходит уже после того, как данные будут переданы со спутника (3) на наземную станцию приема (4).

Трассой полета спутника называется проекция его орбиты на поверхность Земли. Построение ее производится следующим образом. Для каждого заданного момента времени рассчитывается прогноз движения спутника, т. е. определяются его координаты. Затем точка, где находится спутник, соединяется прямой линией с центром Земли. Точка пересечения этой прямой с поверхностью Земли называется подспутниковой точкой. Для того, чтобы определить местоположение спутника в интересующий момент времени, используются расчетные схемы пролетов спутников Terra и Aqua из архива SSEC [9] (см. рис.1.4).

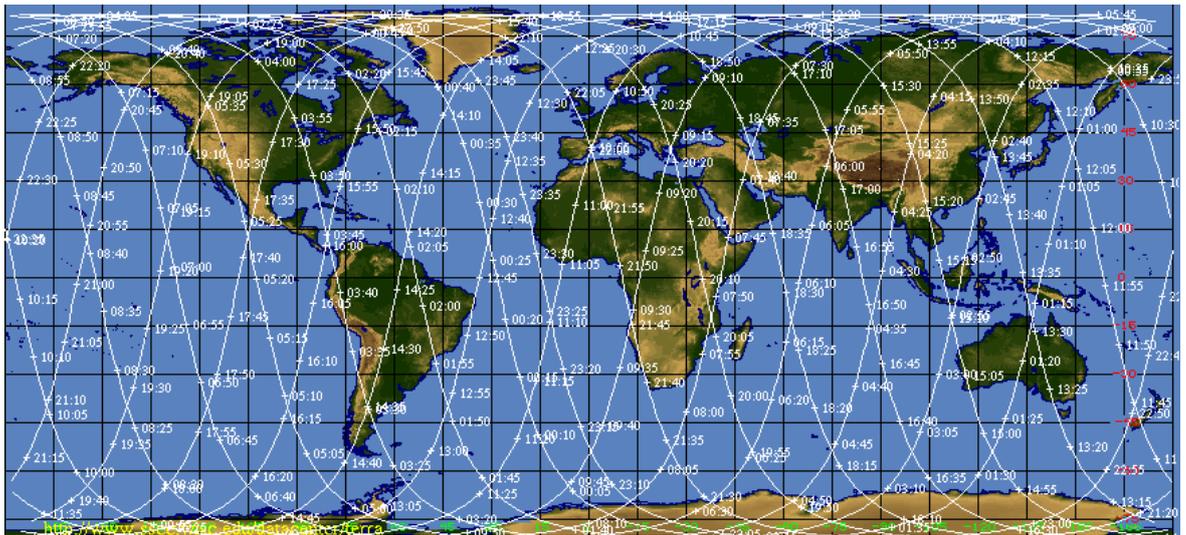


Рисунок 1.4 – Сканирование поверхности

Радиометр MODIS позволяет осуществлять ежедневный оперативный мониторинг территорий, при этом периодичность наблюдения зависит от ее размеров и географического положения, а также количества используемых спутников. Периодичность наблюдения отдельной территории (например, субъекта РФ) при съемке одним спутником составляет от 1-2 раз для южных и центральных (по широте) районов России до 2-3 раз для северных районов - в дневное время и столько же раз ночью. При съемке двумя спутниками частота наблюдений удвоится – от 4 до 12 раз в сутки (в зависимости от географического положения территории). Съемка всей территории России двумя спутниками может осуществляться 1-2 раза днем и столько же раз ночью [10].

MODIS дает возможность определить многие характеристики облачного покрова: разницу между высотами верхней и нижней границ облаков, размеры и фазовое состояние (вода, лёд, снег) частиц, составляющих облака. Для оценки достоверности определения границ облаков используется многоступенчатый алгоритм. В сложных случаях ведётся проверка по ряду дополнительных данных, таких как маска океан/суша, цифровая модель рельефа, карты ледового и снежного покрова, типов экосистем, метеорологические расчёты и

др. Для практического использования данных MODIS разработаны и регулярно совершенствуются алгоритмы обработки первичных данных радиометра. В настоящее время существует 44 стандартных информационных продуктов [10].

Подробное описание продуктов и алгоритмов их получения можно найти в базовой технической документации (Algorithm Theoretical Basis Documents - ATBDs). Краткое описание продуктов и алгоритмов их получения, необходимых для решения поставленных в рамках бакалаврской работы задач, приводится ниже.

При формировании стандартных продуктов MODIS выделяется 3 основных этапа (см. рис. 1.5):

- 1) формирование базовых продуктов уровней обработки от Level0 до Level1B;
- 2) формирование тематических продуктов для научных исследований;
- 3) формирование конечных продуктов для широкого круга пользователей.

Перечень характеристик облаков, представленных в этих продуктах, соответствует международным базам данных и Атласу облаков ВМО. При этом более высокое пространственное разрешение снимков MODIS (250 м) видимого диапазона спектра (0.62–0.67 мкм) позволяет детектировать не только основные формы облаков, но и выделять их подтипы и некоторые сочетания за счет более детализированной текстуры их изображений.

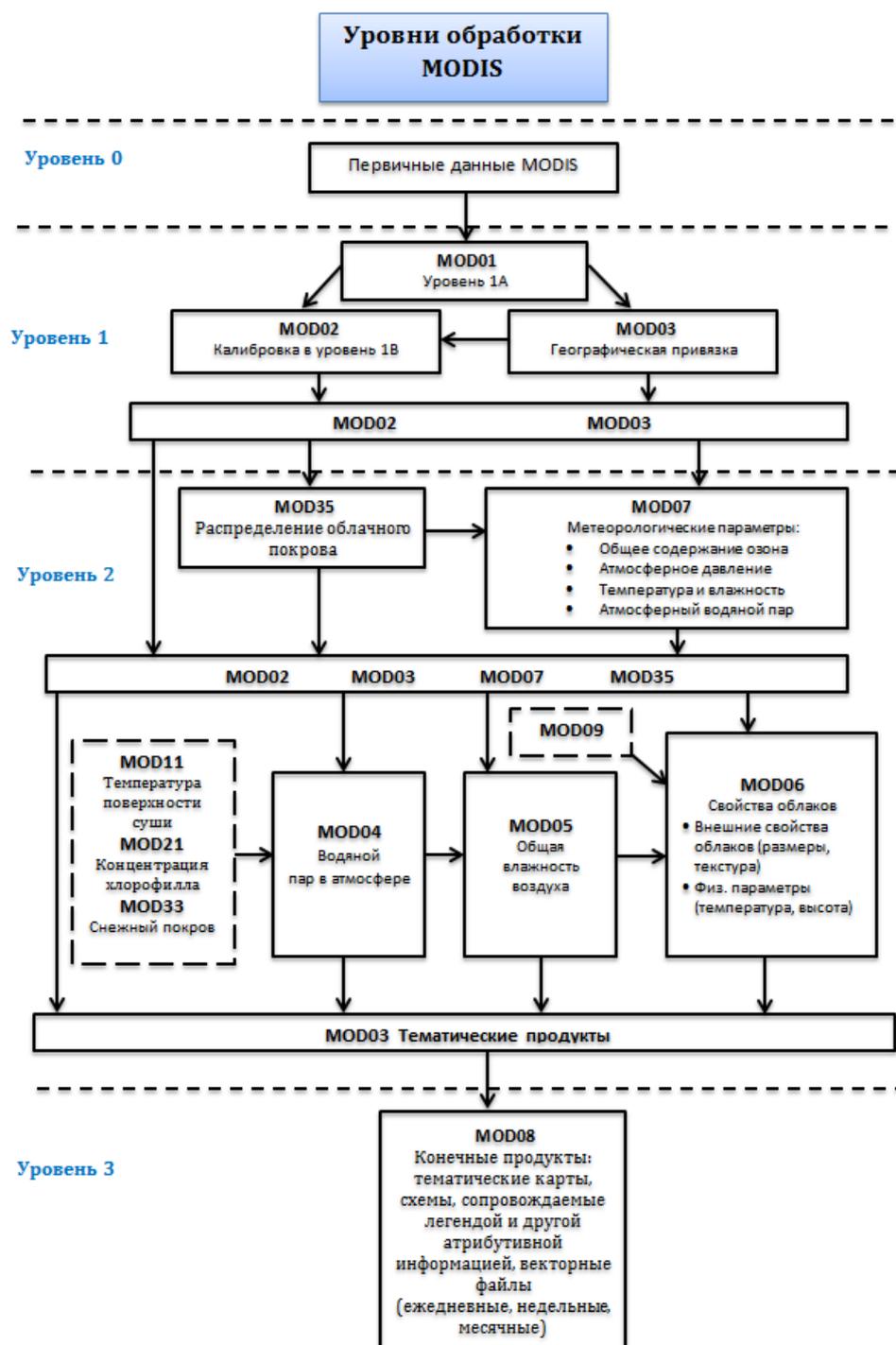


Рисунок 1.5 – Схема формирования продуктов MODIS

Первичные продукты MODIS (Level 0) представляют собой файлы формата PDS, в которых поток данных записан так, как он формируется радиометром на борту спутника. Продукты уровня Level1A (продукт M(O/Y)D01) представляют собой результат распаковки данных формата Level0 в иерархический формат данных HDF. Данные в файлах M(O/Y)D01 не подвергнуты никакой обработке. Продукты уровня Level1B представляют собой результат калибровки данных MODIS. При преобразовании из уровня 1A в уровень 1B данные разного пространственного разрешения разделяются на 4 файла:

- M(O/Y)D021KM (данные всех 36 каналов, приведенные к разрешению 1 км);
- M(O/Y)D02HKM (данные с 1 по 7 канал, приведенные к разрешению 500 м);
- M(O/Y)D02QKM (данные 1 и 2 каналов с разрешением 250 м);
- M(O/Y)D02OBC (бортовые калибровочные данные).

Продукт M(O/Y)D03 используется для географической привязки данных MODIS и содержит массивы значений широты, долготы и высоты над уровнем моря, углы сканирования, угол солнца, маску вода-суша и другую информацию для каждого пикселя с разрешением 1 км. Информация о физических параметрах облачности с разрешением 1000 и 5000 м содержится в продуктах M(O/Y)D35_L2 и M(O/Y)D06_L2. В данной работе используются M(O/Y)D02QKM - изображения, полученные по данным 1 и 2 канала; файлы географической привязки M(O/Y)D03 и файлы с физическими параметрами облачности M(O/Y)D06_L2.

2.5 Основные характеристики облачности

Тематические продукты M(O/Y)D06_L2 содержат следующую информацию об облаках в соответствии с обозначениями [11]:

- высота верхней границы $H_{вз}$ (м);
- температура верхней границы $T_{вз}$ (К);
- давление на верхней границе облачности $P_{вз}$ (гПа);
- эффективная излучательная способность ε ;
- оптическая толщина τ (м);
- эффективный радиус частиц $r_{эфф}$ (мкм);
- водозапас P (г/м³);
- испаряемость E (см);
- температура нижней границы $T_{не}$ (К);
- коэффициент отражения ρ ;
- фазовый состав по данным видимого диапазона спектра $Q_{вд}$;
- фазовый состав по данным ИК-диапазона спектра $Q_{ик}$.

Величина, характеризующая изменение температуры воздуха с высотой, называется вертикальным температурным градиентом, его величина характеризуется некоторой географической, сезонной и суточной изменчивостью. Так, по мере приближения к экватору высота облаков в среднем возрастает и в соответствии с Атласом облаков [1] в

экваториальной зоне уровень, отделяющий облака одного яруса от другого, располагаются на 1 – 2 км выше, чем в умеренных широтах.

Большой интерес представляют данные о влиянии облаков на изменение температуры воздуха на различных высотах, в частности вблизи земной поверхности – чем выше образовалось облако, тем холоднее температура его капель. Следовательно, от высоты расположения облака зависит характер выпадающих из него осадков. Температура воздуха, например, влияет на полет самолета. В значительной степени зависят от температуры взлетно-посадочные данные самолета. Длина разбега и взлетной дистанции, длина пробега и посадочной дистанции уменьшается с понижением температуры.

Согласно [12], по фазовому состоянию облачных элементов облака делятся на три класса:

- водяные (капельные) облака, состоящие только из капель. Они могут существовать не только при положительных температурах, но и при отрицательных (минус 10°C и ниже). В этом случае капли находятся в переохлажденном состоянии, что в атмосферных условиях вполне обычно;
- смешанные облака, состоящие из смеси переохлажденных капель и ледяных кристаллов. Они могут существовать, как правило, при температурах от минус 10 до минус 40°C;
- ледяные (кристаллические) облака, состоящие только из ледяных кристаллов. Они преобладают, как правило, при температурах ниже минус 30 °C.

Размеры облачных капель варьируются от долей до сотен микрометров. В зависимости от условий образования и от стадии развития облако может состоять из капель как сравнительно однородных, так и весьма различным по размерам. В умеренных широтах наиболее часто в облаках встречаются капли радиусом от 3 до 20 мкм. В стадии, близкой к выпадению осадков, радиус облачных капель увеличивается примерно до 20 – 30 мкм, появляются и сверхкрупные капли с радиусом до 100 мкм.

Атмосферное давление воздуха – это сила, действующая на единицу горизонтальной поверхности в 1 см и равная весу воздушного столба, простирающегося через всю атмосферу. Изменение давления в пространстве тесно связано с развитием основных атмосферных процессов. В частности, неоднородность давления по горизонтали является причиной изменения направления движения воздушных масс. Атмосферное давление убывает с высотой. При выполнении полетов в авиации необходимо знать изменение высоты в зависимости от вертикального изменения давления.

Эффективная излучательная способность характеризует долю, которую составляет излучение облака от излучения черного тела, находящегося при температуре облака.

Оптическая толщина облака – это безразмерная величина, которая характеризует ослабление света в облаке за счёт его поглощения и рассеяния.

Эффективный радиус частиц – это – объёмный модальный радиус, то есть радиус капель, дающих максимальный вклад в водность.

Водозапасом называется масса сконденсированной воды в столбе облачного воздуха единичного сечения [11, 12].

Испаряемость – потенциально возможное испарение с поверхности облака при существующих в нем атмосферных условиях.

Коэффициент отражения – это безразмерная физическая величина, характеризующая способность тела отражать падающее на него излучение.

С помощью установленной на спутниках спектральной аппаратуры в настоящее время получают информацию о количестве и форме облаков, температуре и высоте верхней границы облаков или подстилающей поверхности, о распределении снежного и ледяного покрова, о потоках радиации в различных интервалах длин волн и т.д.

Как говорилось ранее, важной характеристикой облаков является их текстура, которая присутствует в изображениях, получаемых с помощью спутниковых устройств в видимом диапазоне спектра. На рисунке 1.6 представлены фрагменты текстуры некоторых типов, подтипов и сочетаний облачности.

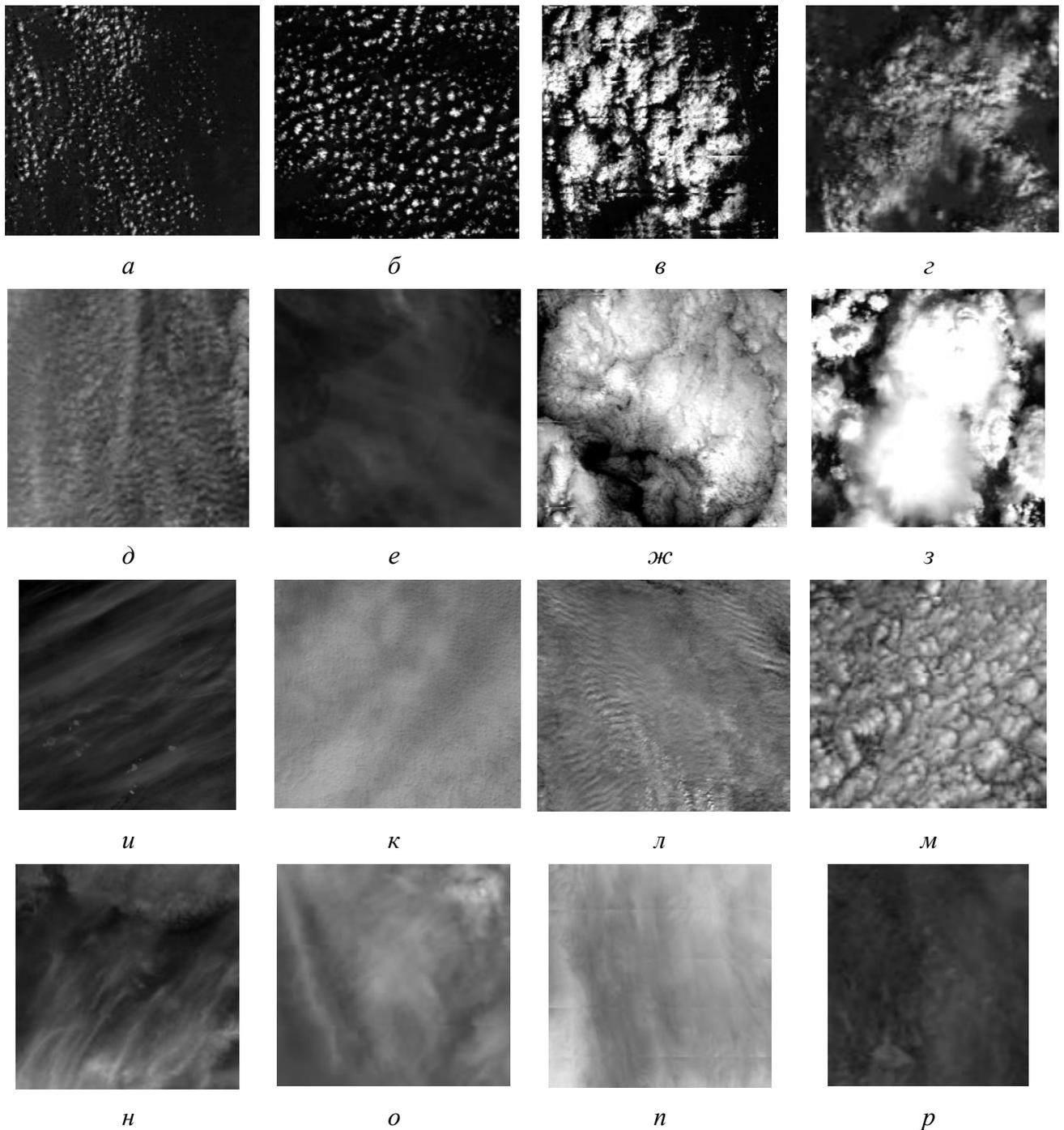


Рисунок 1.6 –Текстура облачности на снимках MODIS: а - кучевые плоские (Cu hum), б - кучевые средние и мощные (Cu med/cong), в - кучево-дождевые лысые (Cb calv), г - слоисто-кучевые кучевообразные (Sc cuf), д - слоисто-кучевые волнистообразные (Sc und), е - слоистые (St), ж - сочетание кучевых и слоисто-кучевых (Cu & Sc), з - кучево-дождевые волосатые (Cb cap), и - высокослоистые (As), к - слоисто-дождевые (Ns), л - высококучевые волнистообразные (Ac und), м - высококучевые кучевообразные (Ac cuf), н - перистые волокнистые (Ci fib), о - перистые плотные (Ci sp), п - перисто-слоистые (Cs), р - перисто-кучевые (Cc).

Некоторые недостатки присущи и спутниковым наблюдениям за облаками: искажения на краях, ограниченное разрешение и недостаточная контрастность снимков, получаемых со

спутников, а также методы автоматической классификации облачности по спутниковым снимкам позволяют разделять облака только по 10–14 разновидностям из 27 возможных.

2.6 Выводы к разделу

В современной климатологии большое значение играет излучение облаков и их влияние на климат Земли и солнечное излучение. Облака в зависимости от своего расположения в атмосфере выполняют разные функции.

В настоящее время информацию о состоянии облачного покрова можно получить из результатов наземных или спутниковых наблюдений. Обнаружение или распознавание различных форм облаков с метеорологических станций зависит от расположения облачных слоев. Наблюдение с поверхности Земли облаков верхнего и среднего яруса может быть затруднено наличием значительного или почти сплошного покрова облаков нижнего яруса. Некоторые недостатки присущи и спутниковым наблюдениям за облаками: искажения на краях, ограниченное разрешение и недостаточная контрастность снимков, получаемых со спутников, а также методы автоматической классификации облачности по спутниковым снимкам позволяют разделять облака только по 10–14 разновидностям из 27 возможных.

В работе используются данные ДЗЗ, представленные снимками MODIS с пространственным разрешением 250 м/пиксель, полученными из продукта MOD02QKM, с географической привязкой из продукта MOD03 и физические параметры облачности, извлекаемыми из продукта MOD06_L2, которые предоставляются в формате *.hdf. Основные физические параметры описаны в главе.

Для общего представления о количестве, изменчивости и географическом распределении отдельных форм облаков в приложении Б приводятся диаграммы годового хода повторяемости 27 возможных типов облаков для нескольких климатических природных зон РФ.

В ходе анализа метеорологических радиограмм, было определено, что наиболее встречающимися на верхнем ярусе являются перистые волокнистые (Ci fib), на среднем – высококучевые просвечивающие облака (Ac trans), на нижнем – слоисто-кучевые волнистообразные облака (Sc und) и кучево-дождевые волосатые (Cb cap).

3 Порядок подготовки и описание исходных данных

3.1 Восстановление характеристик облачности по климатическим зонам

Западная Сибирь представляет собой территорию, простирающуюся на 2500 км от Северного Ледовитого океана до сухих степей Казахстана и на 1500 км от гор Урала до Енисея. Около 80% площади Западной Сибири расположено в пределах Западно-Сибирской равнины, расположенной между 60° и 88° в.д., и между 54° и 73° с.ш. (см. рис. 2.1). В программе эта область ограничивается параллелями и меридианами, отмеченными красным цветом на рисунке 2.1.

Для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности Западной Сибири необходимо построить их годовой ход, для этого нужно сформировать набор спутниковых снимков MODIS для каждого дня в течение года. Спутники Terra и Aqua делают снимки территории Западной Сибири в среднем 2 – 4 раза в дневное время суток.

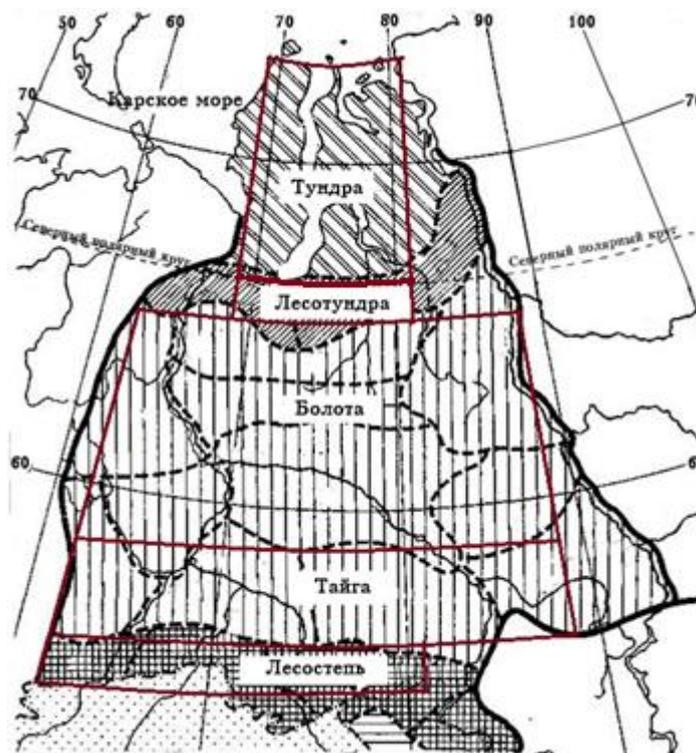


Рисунок 2.1 – Территория Западной Сибири и область для анализа

После того, как собраны снимки, для них скачиваются файлы MO(Y)D02QM, MO(Y)D03, MO(Y)D06_12. Следует подобрать снимки, которые охватывают как можно большую часть территории Западной Сибири.

Для исследования характеристик облачности необходимо выполнить ее классификацию по типам. Для этого используется программа ANFIS, разработанная научным сотрудником ИОА СО РАН Скороходовым А.В. Программа основана на использовании нейро-нечеткой

нейронной сети и методов параллельных вычислений на графических процессорах. Этот метод автоматической послойной классификации облачности на основе информации о текстуре спутниковых снимков MODIS предложен в работе [13].

Основная идея предложенного в [13] метода заключается в последовательном переборе текстурных признаков с выбором наиболее информативного из них по результатам оценки вероятности правильной классификации тестовой выборки. В работе используется один из самых эффективных методов усеченного перебора Add. Признак, увеличивающий качество классификации, добавляется в информативный набор и на последующих итерациях алгоритма Add не рассматривается. Процедура перебора заканчивается, если на очередном шаге определяется признак, улучшающий достоверность классификации тестовой выборки, либо, когда в информативном наборе представлены все рассматриваемые классификационные характеристики.

3.2 Классификация облачности с использованием технологии нейронных сетей и методов нечеткой логики

В программе ANFIS использовался гибридный классификатор, основанный на совместном применении технологии искусственных нейронных сетей и методов нечеткой логики. Его архитектура показана на рис. 2.2.

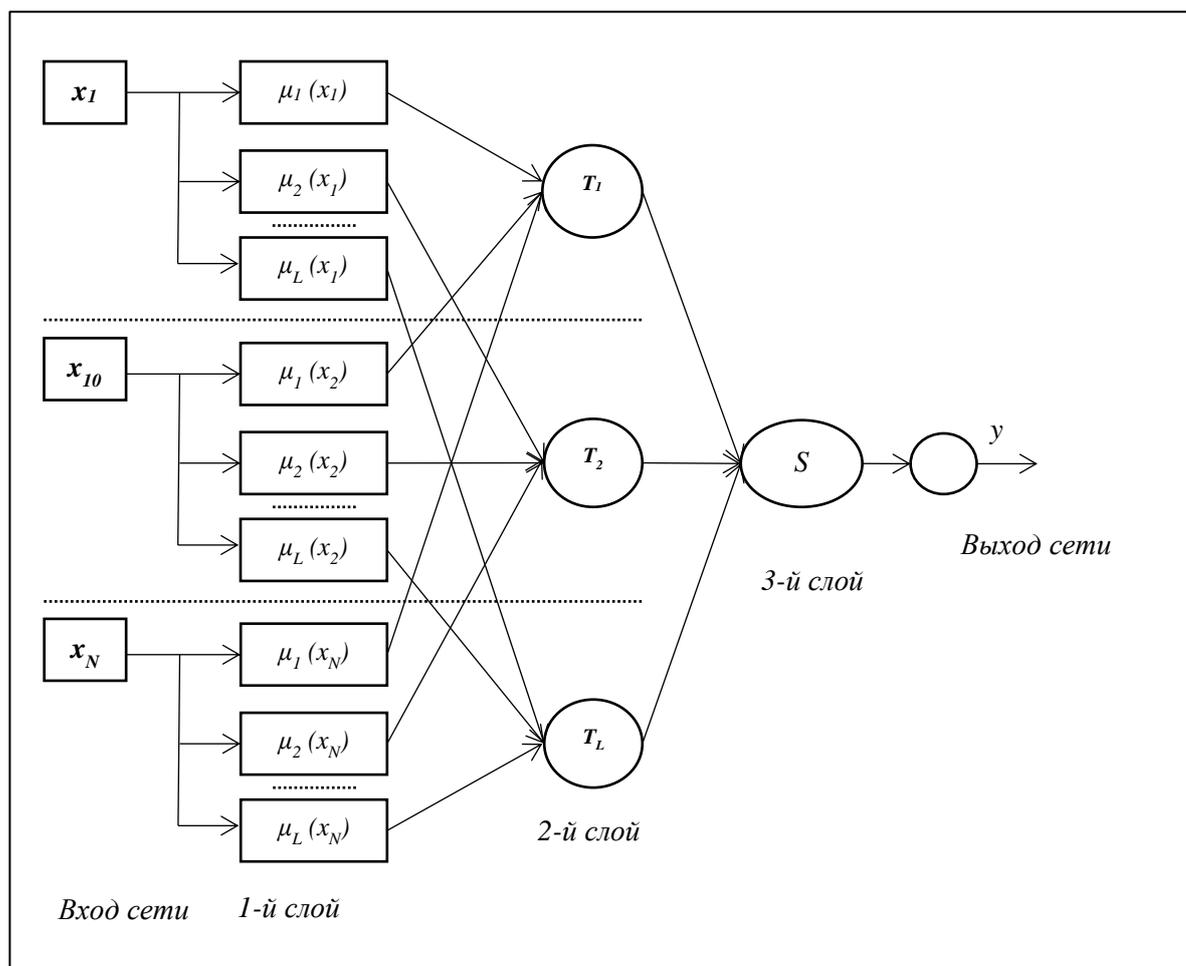


Рисунок 2.2 – Архитектура гибридного классификатора

На вход сети (см. рис. 2.2) предъявляется вектор значений информативных текстурных и физических признаков $X=(x_1, x_2, \dots, x_N)$ исследуемого фрагмента изображения облачности (N – число информативных текстурных признаков). Первый слой состоит из наборов нейронов-термов, выполняющих приведение к нечеткости (фаззификации) значений текстурных признаков. В качестве функции фаззификации используется стандартная функция Гаусса (1)

$$\mu_i(x_j) = e^{-\left(\frac{x_j - e_j^{(i)}}{\sigma_j^{(i)}}\right)^2}, \quad (2.1)$$

при которой нечеткая система является универсальным аппроксиматором [13].

Второй слой включает в себя 16 нейронов-антецедентов, реализующих треугольную норму и моделирующих логическую операцию «И». При этом число нейронов определяется числом распознаваемых классов.

На третьем слое происходит интерпретация результатов классификации однослойной облачности.

Таким образом, алгоритм классификации позволяет относить какой-либо фрагмент снимка облачности к нескольким разновидностям облаков одновременно на основе сходства их текстур. Алгоритм решает только задачу классификации облачности по спутниковым снимкам в условиях неопределенностей, когда на изображении наблюдается смесь текстур различных типов облаков.

Результатов работы являются изображения в псевдоцветах, соответствующих определенным типам однослойной облачности, сохраненные в файлы BMP (рис 2.3).

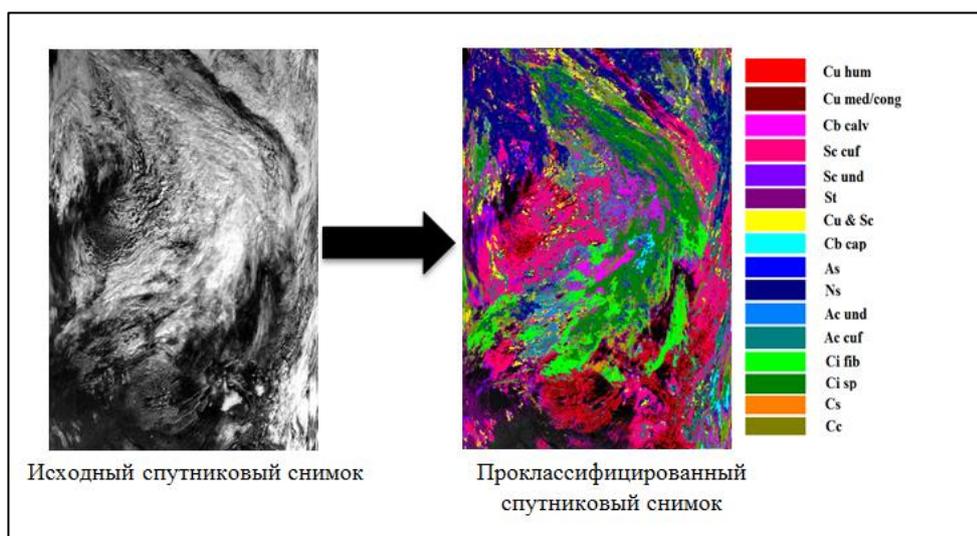


Рисунок 2.3 – Результат классификации изображения на основе программы PNN

Дальнейшая работа будет выполняться в программе CloudParameter. Эта программа позволяет рассчитать средние физические характеристики однослойной облачности в конкретном регионе только по классифицированному спутниковому снимку, последовательно обрабатывая каждый пиксель рассматриваемого региона.

3.3 Выводы к разделу

Описана программа ANFIS, основанная на использовании нейро-нечеткой нейронной сети и методов параллельных вычислений на графических процессорах, используемая для классификации однослойной облачности на спутниковом снимке. В результате обработки спутниковых снимков получаются изображения в псевдоцветах, соответствующих определенным типам однослойной облачности, сохраненные в файлы BMP. Такие изображения являются исходными данными для разработанной программной системы CloudParameter.

Программная система CloudParameter позволяет выявить сезонно-широтные закономерности повторяемости и физических параметров облачности Западной Сибири и построить их годовой ход, путем попиксельной обработки рассматриваемого региона. Для

этого сформирован набор спутниковых снимков и тематических продуктов MODIS – M(O/Y)D03 и M(O/Y)D06_L2.

4 Описание программной системы для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности по данным MODIS

4.1 Функциональные требования к программной системе

Основная цель использования разрабатываемой программной системы заключается в оценке изменчивости повторяемости и физических характеристик различных типов облачности на основе результатов спутниковой съемки Западной Сибири за многолетний период времени.

В качестве примера функциональной модели рассмотрим активностную модель, предложенную Д. Россом в составе методологии функционального моделирования SADT (Structured Analysis and Design Technique) в 1973 году.

Отображение взаимосвязи функций активностной модели осуществляется посредством построения иерархии функциональных диаграмм.

Функциональная диаграмма представляет собой схематическое представление взаимосвязей нескольких функций. Каждый блок такой диаграммы соответствует некоторой функции, для которой должны быть определены исходные данные, результаты, управляющая информация и механизмы ее осуществления – человек или технические средства [14,15].

Построение модели начинают с единственного блока, для которого определяют исходные данные, результаты, управление и механизмы реализации (рис. 3.1). Затем он последовательно детализируется с использованием метода пошаговой детализации (рис. 3.2).



Рисунок 3.1 – SADT-диаграмма верхнего уровня

Из SADT-диаграммы верхнего уровня (рис. 3.1) видно, что исходными данными для программной системы являются проклассифицированное спутниковое изображение и тематические продукты MODIS, соответствующие этому изображению. Результатами работы программной системы являются средние значения характеристик основных 16 видов облаков для рассматриваемых природных зон Западной Сибири. Характеристики включают в себя как повторяемость, так и основные физические параметры. Механизмы показывают

средства, с помощью которых осуществляется выполнение функций, в данном случае все функции выполняет обычный пользователь ПС, под управлением внутренних инструкций.

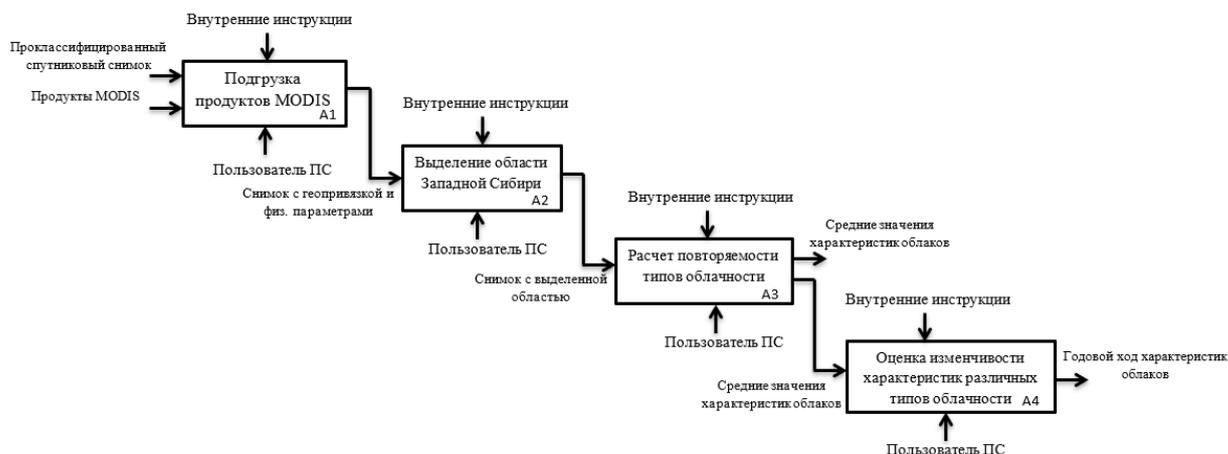


Рисунок 3.2 – Уточняющая диаграмма SADT

Основная часть SADT-модели системы представляет собой набор диаграмм, объединенный в древовидную структуру. Каждая диаграмма представляет собой описание некоторой четко ограниченной функции данной системы на определенном уровне абстракции. На уточняющей диаграмме SADT показаны основные функции, которые должны выполняться программной системой:

- подгрузка продуктов MODIS - файлы географической привязки M(O/Y)D03 и файлы с физическими параметрами облачности M(O/Y)D06_L2;
- выделение области Западной Сибири для дальнейшего анализа;
- расчет повторяемости типов облачности – в результате должны быть получены средние значения характеристик основных видов облаков для рассматриваемых природных зон, которые служат исходными данными для построения годового хода различных характеристик облачности;
- оценка изменчивости характеристик различных типов облачности – в результате должны быть получены графики годового хода повторяемости и физических характеристик рассматриваемых типов облачности.

Таким образом, в результате получена спецификация, которая состоит из иерархии функциональных диаграмм, спецификаций функций нижнего уровня.

4.2 Структура программной системы

4.2.1 Моделирование работы программной системы

Процесс проектирования программного комплекса осуществляется с помощью языка UML.

Концептуальное представление поведения системы отражает диаграмма вариантов использования (Use Case Diagram) (см. рис. 3.3). Диаграмма вариантов использования (сценариев поведения, прецедентов) – диаграмма, на которой изображаются варианты использования проектируемой системы, заключенные в границу системы и внешние актеры, а также определенные отношения между актерами и вариантами использования (прецедентами) [16, 17].

Прецеденты представляют собой общую спецификацию совокупности выполняемых системой действий с целью представления некоторого наблюдаемого результата, которое имеет значение для одного или нескольких актеров.

Исходя из поставленных задач, можно сделать вывод о том, что прецедентами, то есть вариантами использования, являются:

- загрузка спутникового снимка;
- подключение тематических продуктов MODIS;
- выделение области Западной Сибири для анализа;
- расчет повторяемости и средних значений физических параметров для рассматриваемых типов облачности по природным зонам;
- построение годового хода повторяемости и физических характеристик рассматриваемых типов облачности в различных природных зонах.

Актером является любая внешняя по отношению к проектируемой системе сущность, которая взаимодействует с системой и использует ее функциональные возможности для достижения определенных целей или решения частных задач.

Основываясь на анализе предметной области, можно сделать вывод, что в роли актера будет выступать пользователь программной системы.

Связи между актерами и вариантами отображаются с использованием отношений четырех видов: ассоциаций, обобщения, включения и расширения.

1) Применительно к рассматриваемой диаграмме отношение ассоциации служит для обозначения взаимодействия актера с вариантом использования.

2) Отношение обобщения служит для указания того факта, что некоторая сущность А может быть обобщена до сущности В. В этом случае сущность А будет являться специализацией сущности В. На диаграмме данный вид отношения можно отображать только между однотипными сущностями (между двумя вариантами использования или двумя актерами).

3) Отношение включения (англ. include или uses) указывает, что некоторое заданное поведение одного варианта использования обязательно включается в качестве составного компонента в последовательность поведения другого варианта использования.

4) В отличие от отношения включения, отношение расширения (англ. extend) определяет потенциальную возможность включения поведения одного варианта использования в состав другого. Т. е. дочерний вариант использования может как вызываться, так и не вызываться родительским.

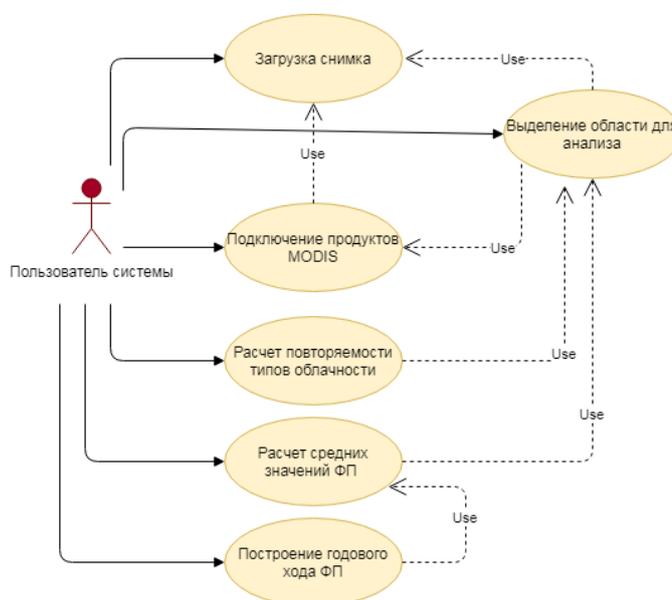


Рисунок 3.3 - UML-диаграмма вариантов использования

Исходя из присутствующих на диаграмме типов связей можно сделать следующие заключения:

- продукты MODIS могут быть подключены только к соответствующему спутниковому снимку, который уже загружен в систему;
- область Западной Сибири для анализа выделится на загруженном в систему снимке при подключении соответствующих продуктов MODIS;
- расчет повторяемости и средних значений физических характеристик рассматриваемых 16 типов облачности осуществляется для природных зон выделенной области Западной Сибири;

- построение годового хода включает в себя обязательный расчет повторяемости и средних значений физических характеристик на годовых спутниковых снимках.

Диаграмма вариантов использования предназначена для того, чтобы:

- определить общие границы функциональности проектируемой системы в контексте моделируемой предметной области;
- специфицировать требования к функциональному поведению проектируемой системы в форме вариантов использования;
- разработать исходную концептуальную модель системы для последующей детализации в форме логических и физических моделей;
- подготовить исходную документацию для взаимодействия пользователей системы с разработчиком.

Опираясь на анализ предметной области и диаграмму вариантов использования, строится диаграмма активностей (Activity Diagrams), представляющая алгоритм действий (активностей), выполняющихся в системе (см. рис.3.4).

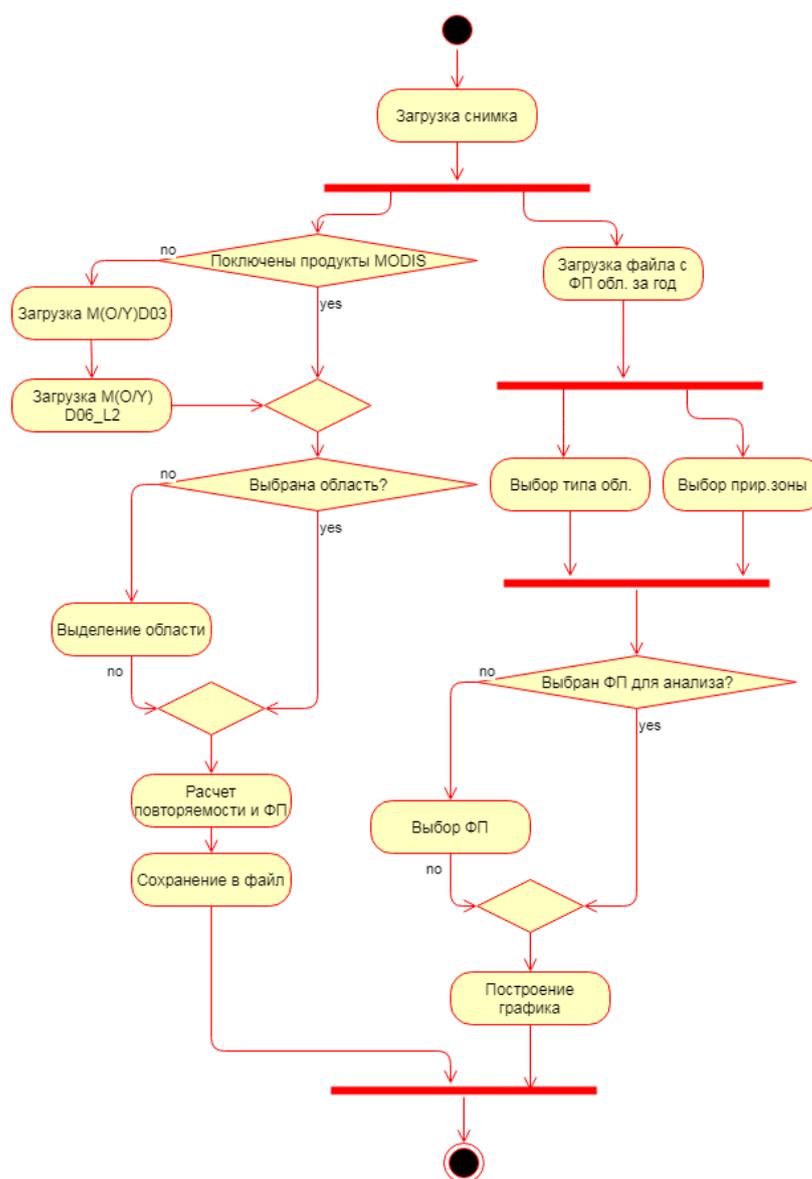


Рисунок 3.4 - UML-диаграмма деятельности

Диаграмма деятельности демонстрирует последовательность выполнения двух функций программы: расчет физических характеристик и повторяемости облачности и построение соответствующих графиков.

4.2.2 Описание логической структуры программной системы

Логическое представление архитектуры программной системы отражает UML - диаграмма классов (class diagram), которая определяет типы классов системы и различного рода статические связи, которые существуют между ними. На диаграммах классов изображаются также атрибуты классов, операции классов и ограничения, которые накладываются на связи между классами.

Диаграмма классов UML – это граф, узлами которого являются элементы статической

структуры проекта (классы, интерфейсы), а дугами – отношения между узлами (ассоциации, наследование, зависимости). Графически класс изображается в виде прямоугольника, разделенного на 3 блока горизонтальными линиями: имя класса, атрибуты (свойства) класса, операции (методы) класса [16, 17].

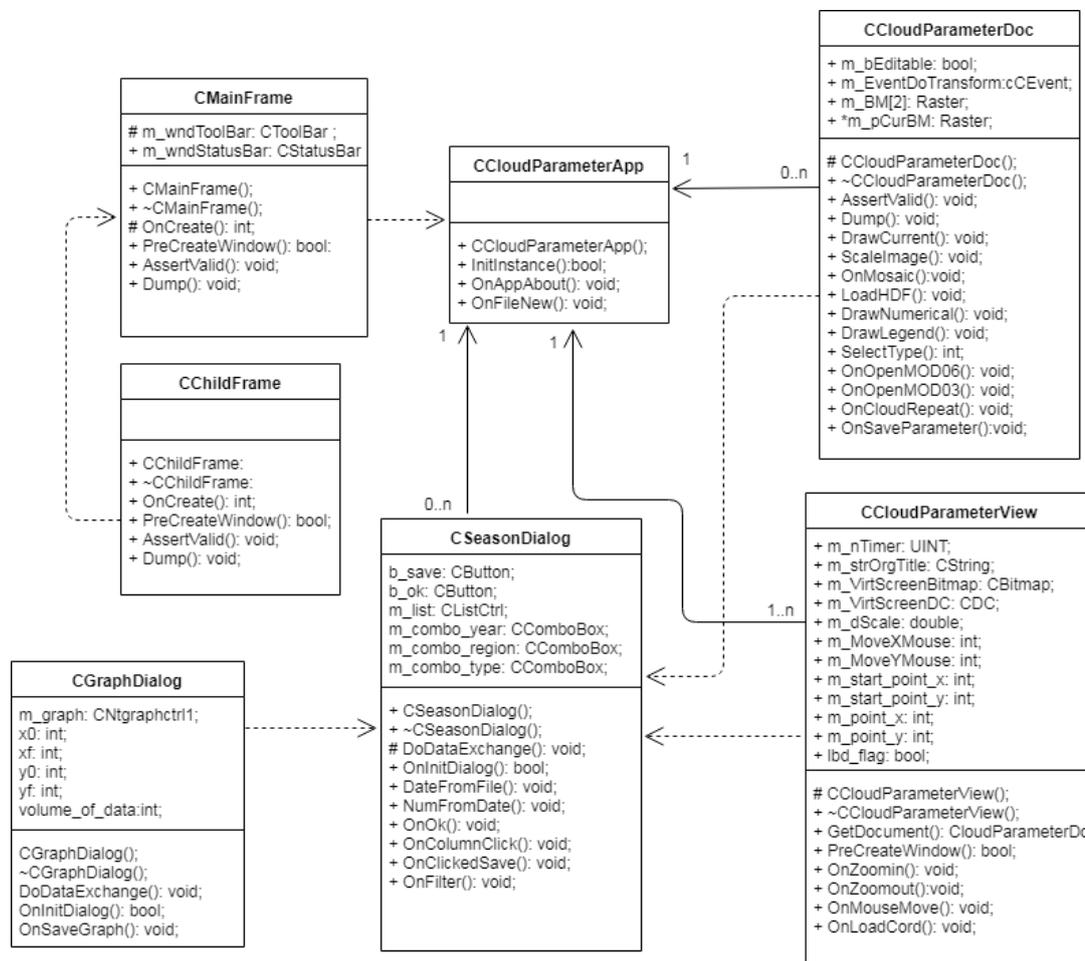


Рисунок 3.5 – UML-диаграмма классов

Для обеспечения требуемого функционала необходимы следующие классы программной системы CloudParameter (см. рис. 3.5):

- CMainFrame – класс для создания основного окна программы;
- CChildFrame – класс для создания дочернего окна программы;
- CCloudParameterApp – основной класс, который вызывается при запуске программы;
- CCloudParameterDoc – класс-обработчик, используемый для загрузки внешних файлов (изображения, продуктов MODIS), заливки области Западной Сибири, вычисления и сохранения средних значения физических параметров для каждого типа облачности;
- CCloudParameterView – класс облик, здесь обработанные файлы выводятся на экран;

- CSeasonDialog – класс, используемый для отображения средних значений физических параметров для каждого типа облачности и формирования таблицы годового хода физических характеристик;
- CGraphDialog – класс, позволяющий использовать графические объекты и строить графики.

Между классами программной системы определены два типа связей – зависимость и ассоциация. Зависимость – семантически представляет собой связь между двумя элементами модели, в которой изменение одного элемента (независимого) может привести к изменению семантики другого элемента (зависимого). Графически представлена пунктирной линией, иногда со стрелкой, направленной к той сущности, от которой зависит еще одна; может быть снабжена меткой. Например, CChildFrame – класс для создания дочернего окна программы зависит от класса основного окна программы CMainFrame. Ассоциация показывает, что объекты одной сущности (класса) связаны с объектами другой сущности таким образом, что можно перемещаться от объектов одного класса к другому. Например, класс-обработчик CCloudParameterDoc, класс-облик CCloudParameterView и класс с основными расчетами CSeasonDialog ассоциативно связаны с основным классом CCloudParameterApp.

4.3 Используемые средства разработки

При разработке программной системы в качестве среды разработки программного обеспечения использовалась Microsoft Visual Studio 2015.

Microsoft Visual Studio — линейка продуктов компании Microsoft, включающих интегрированную среду разработки программного обеспечения и ряд других инструментальных средств.

Данные продукты позволяют разрабатывать как консольные приложения, так и приложения с графическим интерфейсом, в том числе с поддержкой технологии Windows Forms, а также веб-сайты, веб-приложения, веб-службы как в родном, так и в управляемом кодах для всех платформ, поддерживаемых Windows, Windows Mobile, Windows CE, .NET Framework, Xbox, Windows Phone .NET Compact Framework и Silverlight [Microsoft Visual Studio [18].

Выбор Microsoft Visual Studio в качестве среды разработки обусловлен тем, что здесь реализована поддержка множества языков программирования и кроссплатформенность разработки, встроен контроль за выполнением многопоточного кода; существует бесплатная редакция Community; есть запись происходящего во время отладки [19].

К недостаткам можно отнести относительно высокое потребление памяти.

Visual Studio поддерживает широкий спектр языков программирования. Для разработки программной системы использовался компилируемый, статически типизированный язык программирования общего назначения – C++. На сегодняшний день C++ является одним из самых популярных и распространенным языком программирования.

Так как в программной системе должна быть реализована работа с графикой и окнами для взаимодействия с пользователем, в среде Visual Studio используется библиотека классов Microsoft Foundation Classes (MFC), которую можно использовать для программирования на языке C++ под Windows [20]. Библиотека позволяет программировать в терминах классов различные элементы Windows, такие, как окна, диалоги, элементы управления, а также графический интерфейс. Функции библиотеки используют функции API (программного интерфейса Windows), но есть возможность использовать функции API и напрямую.

4.4 Интерфейс и руководство пользователя

Программная система «CloudParameter» предназначена для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности над территорией Западной Сибири.

Функциональные возможности программы:

- загрузка спутникового снимка;
- загрузка продуктов MODIS;
- наложение маски региона Западной Сибири для анализа;
- расчет повторяемости и средних значений физических параметров основных 16 типов облачности;
- оценка изменчивости физических параметров различных типов облачности.

При запуске программной системы открывается главное окно (рис. 3.6), содержащее строку заголовка, строку меню и панель инструментов. Строка меню содержит пункты: файл, вид, справка.

- 1) файл:
 - a) создать – создается новое окно;
 - b) открыть данные – открывается спутниковый снимок;
 - c) закрыть – закрывается окно;
 - d) выход – осуществляется выход из программы.
- 2) вид:

- а) панель инструментов – включает в себя иконки основных операций (открыть, сохранить, вырезать, скопировать, и т.д.);
 - б) строка состояния - выводятся сообщения малой важности, отображаются индикаторы результатов действий пользователя.
- 3) справка.

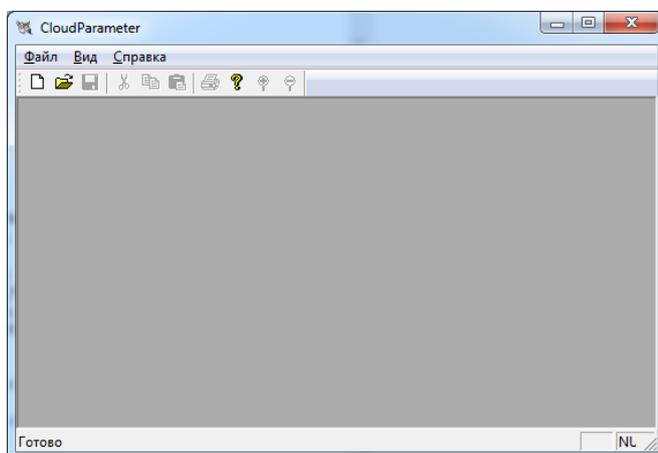


Рисунок 3.6 – Главное окно программы

После открытия спутникового снимка главное окно программной системы примет вид, представленный на рисунке 3.7. Вкладка Подгрузка включает в себя пункты «Подгрузить M(O/Y)D03» - подключается тематический продукт MODIS для географической привязки (см. рис. 3.8), «Подгрузить M(O/Y)D06_L2» - подключается тематический продукт MODIS с физическими параметрами облачности и «Подгрузить координаты региона» - для выделения на снимке области Западной Сибири (см. рис. 3.9).

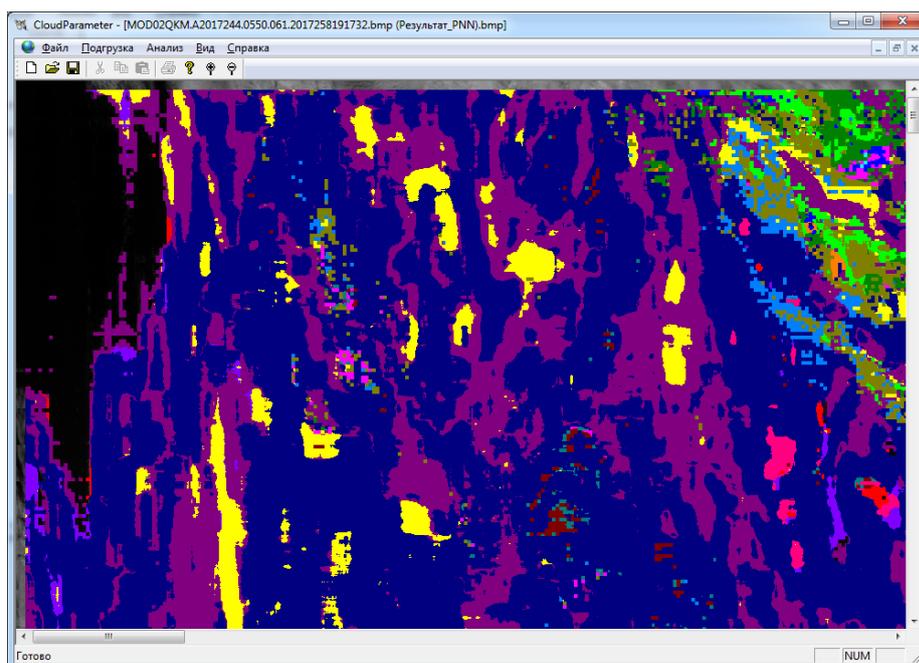


Рисунок 3.7 – Главное окно программы после загрузки спутникового снимка
После подключения файла геопривязки в строке состояния будут отображаться

координаты пикселя, на который наведена мышь.

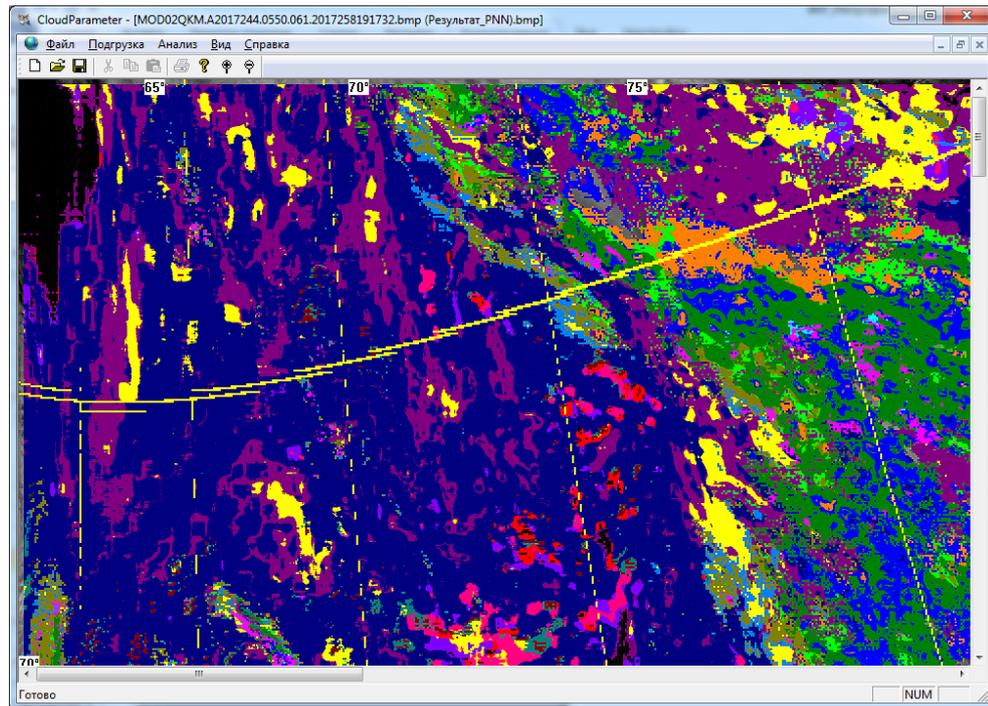


Рисунок 3.8 – Главное окно программы после подгрузки продукта M(O/Y)D03

Подгрузив к изображению продукт M(O/Y)D06_L2, можно посмотреть физические параметры облачности в любом выбранном пикселе изображения (выбор осуществляется нажатием ЛКМ) (см. рис. 3.9).

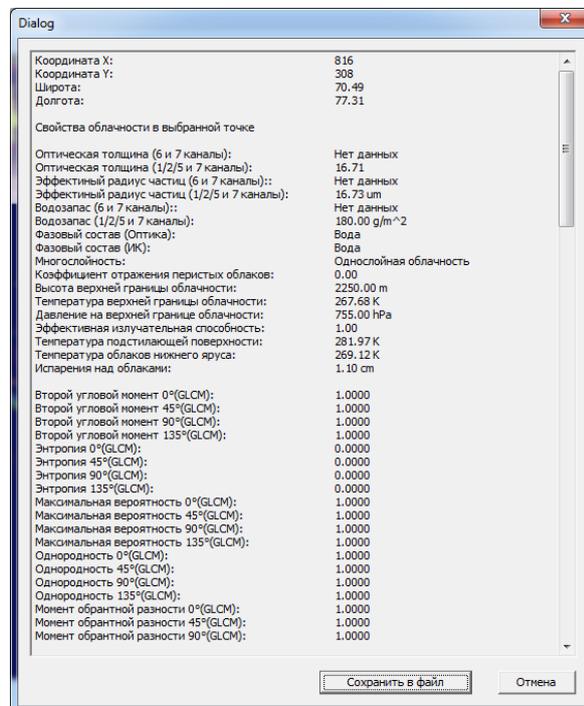


Рисунок 3.9 – Физические параметры облачности

Физические параметры можно сохранить в текстовый файл, нажав на кнопку

«Сохранить в файл». Именем файла будет являться широта и долгота выбранного пикселя в соответствии с геопривязкой.

При выборе пункта меню «Подгрузить координаты региона» на спутниковом снимке белым цветом выделяется зона Западной Сибири, попадающая на него (см. рис. 3.10).

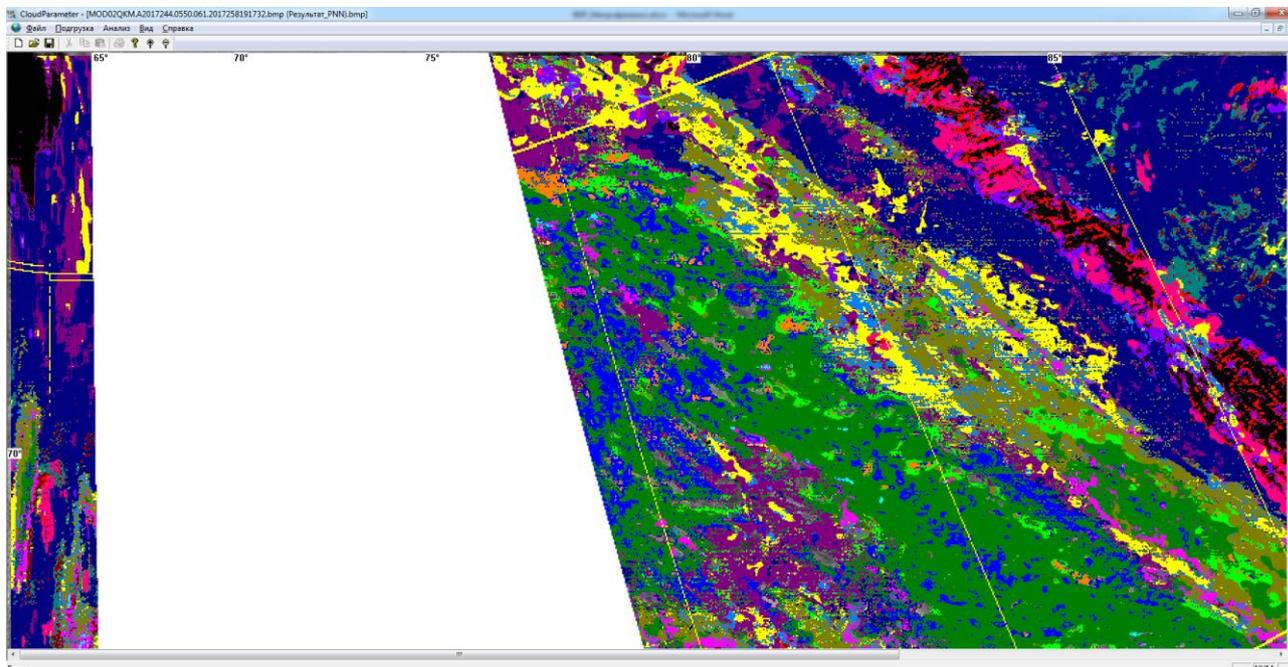


Рисунок 3.10 – Выделение области для анализа

Для того, чтобы получить информацию о повторяемости 16 рассматриваемых типов облачности и средних значениях физических параметров по природным зонам, попадающим на снимок, в меню выбирается пункт «Анализ» → «Повторяемость типов облачности». В результате на экране появится таблица (см. рис. 3.11).

Дата(дд.мм.гггг)	Регион наблюдения	Тип облачности	Повторяемость	Оптическая толщина	Эффективный радиус (мкм)	Водозапас (г/м ²)	Фазовый состав (Оптика)	Фазовый сос
01.09.2017	66°-73° Тундра	Кучевые плоские	17064	13.37	17.52	139.47	2.00	1.00
		Кучевые средние и мощные	28362	76.75	14.44	1250.49	2.01	1.16
		Кучево-дождевые льские	7158	31.05	31.27	1206.71	2.79	4.04
		Слоисто-кучевые кучевообразные	141914	8.68	13.85	75.44	2.00	1.00
		Слоисто-кучевые волнистообразные	109835	3.65	12.78	27.79	2.00	1.00
		Слоистые	265507	15.77	13.89	134.71	2.03	1.30
		Кучевые и слоисто-кучевые	84220	15.91	16.69	153.95	2.04	1.02
		Кучево-дождевые волосатые	3803	27.06	28.85	735.30	3.00	2.00
		Высокослоистые	11167	12.40	41.86	310.01	2.96	5.09
		Слоисто-дождевые	1518702	16.91	13.54	143.63	2.00	1.02
		Высококучевые волнистообразные	39400	10.76	22.42	143.24	2.26	5.63
		Высококучевые кучевообразные	50661	49.74	14.65	463.36	2.01	1.16
		Перистые нитевидные	11399	3.49	37.89	79.66	2.97	5.12
		Перистые плотные	42226	17.46	32.17	338.40	3.00	2.20
		Перисто-слоистые	2559	3.60	41.85	87.40	2.89	5.01
		Перисто-кучевые	26937	5.65	27.20	90.51	2.76	3.89
64°-66° Лесотундра		Кучевые плоские	79032	12.47	14.39	109.43	2.00	1.04
		Кучевые средние и мощные	15261	62.36	16.54	1322.77	2.06	1.20
		Кучево-дождевые льские	8587	27.39	37.89	868.52	2.97	5.44
		Слоисто-кучевые кучевообразные	189562	10.05	12.97	82.62	2.00	1.00
		Слоисто-кучевые волнистообразные	173862	3.11	12.09	22.00	2.00	1.01
		Слоистые	48544	3.79	11.25	23.95	2.01	1.52
		Кучевые и слоисто-кучевые	117010	9.05	12.22	72.87	2.01	1.01
		Кучево-дождевые волосатые	1900	38.57	28.25	789.63	3.00	2.00
		Высокослоистые	251	40.16	39.52	1057.81	3.00	5.95
		Слоисто-дождевые	158582	9.27	10.92	73.14	2.00	1.00
Высококучевые волнистообразные	22511	5.12	16.65	54.57	2.10	5.75		

Рисунок 3.11 – Расчет повторяемости и средних значений ФП облачности на снимке

Под повторяемостью здесь понимается число пикселей, принадлежащих тому или иному типу облачности. Полученную информацию можно сохранить в текстовый файл, имеющий то же название, что и проклассифицированное изображение. Подобным образом обрабатываются все скачанные спутниковые сцены за год.

После получения итогового текстового файла запускается программа CloudParameter и загружается любой BMP файл (необходимо, чтобы появилось расширенное меню). Далее в меню выбирается «Анализ» → «Сезонно-широтные закономерности». Программа предложит выбрать сводный файл с характеристиками облаков за год. В результате появится таблица с наиболее повторяющимися типами облачности за каждый день наблюдения (>50000 пикселей) и средними значениями их характеристик (см. рис. 3.12).

Дата(дд.мм.гггг)	Регион наблюдения	Тип облачности	Повторяемость	Оптическая толщина	Эффективный радиус (мкм)	Водозапас ($г/м^2$)	Фазовый состав (Оптика)	Фазовый сос
05.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	292450.000000	19.299999	13.810000	700.039978	2.780000	3.9400
06.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	76142.000000	4.920000	37.950001	240.910004	2.940000	4.8600
02.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	659342.000000	36.509998	9.840000	440.510010	2.040000	1.5100
01.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	112085.000000	30.059999	12.620000	367.279999	2.260000	4.8500
22.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	150184.000000	15.760000	15.800000	165.039993	2.690000	4.5300
17.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	145740.000000	12.830000	23.650000	204.649994	2.480000	3.4000
25.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	100201.000000	7.070000	34.849998	241.570000	2.930000	4.8300
09.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	218594.000000	5.580000	30.620001	593.330017	3.050000	4.8500
16.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	164928.000000	10.520000	30.660000	175.779999	2.730000	4.6200
18.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	70364.000000	12.110000	21.100000	176.889999	2.480000	3.2400
19.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	123627.000000	2.220000	33.930000	97.080002	2.860000	5.2800
14.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	250111.000000	11.720000	12.380000	151.449997	2.140000	2.8200
20.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	226148.000000	5.020000	30.719999	129.210007	2.930000	3.8000
15.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	237989.000000	16.040001	13.830000	334.540009	2.290000	4.9000
21.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	142131.000000	4.450000	22.420000	63.720001	2.730000	2.7600
12.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	214984.000000	7.690000	14.060000	357.700012	2.270000	5.8100
24.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	99257.000000	9.380000	20.900000	458.420013	2.830000	4.1800
30.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	159161.000000	11.060000	15.660000	160.020004	2.190000	1.9200
23.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	88690.000000	9.550000	20.889999	513.010010	2.530000	5.1100
28.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	53181.000000	1.940000	35.480000	101.930000	3.010000	4.1700
27.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	512429.000000	14.180000	15.740000	184.809998	2.340000	5.3500
00.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	598317.000000	12.490000	13.250000	134.240005	2.040000	2.1200
07.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	196965.000000	19.670000	15.950000	164.970001	2.230000	1.6900
05.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	163879.000000	9.640000	26.760000	242.389999	2.580000	3.0900
09.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	87195.000000	6.700000	31.270000	396.440002	2.800000	4.2600
02.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	105438.000000	5.660000	32.070000	213.389999	2.730000	3.1600
08.02.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	136661.000000	3.420000	34.770000	59.310001	2.850000	4.3300

Рисунок 3.12 – Расчет повторяемости и средних значений ФП облачности за год

Далее можно отфильтровать список в соответствии со значениями выпадающих списков «Год, Регион, Тип облачности», например, как показано на рисунке 2.12, выведены дни, когда слоисто-дождевая облачность имела наибольшую повторяемость в природной зоне тайге.

В указанной таблице можно построить годовой ход различных характеристик рассматриваемых типов облачности, выделив столбец, нажатием на его заголовок и нажатием кнопки «Построить график». В результате получают графики сезонно-широтных зависимостей физических характеристик облачности. Например, на рис. 3.13 показан график изменения водозапаса P слоисто-дождевых облаков в зоне тайги.

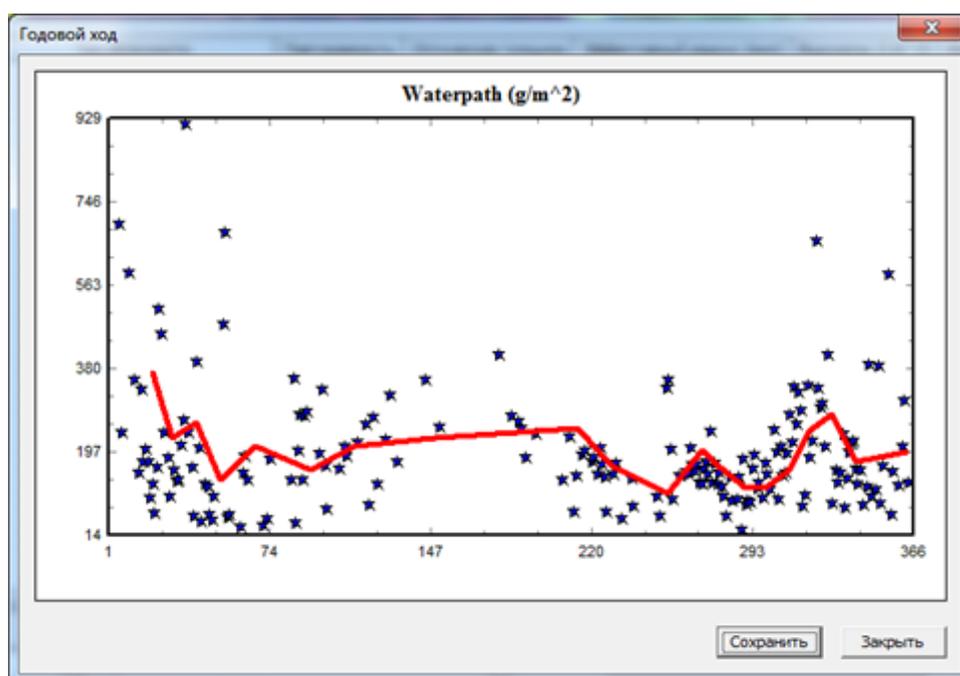


Рисунок 3.13 – Годовой ход изменения водозапаса слоисто-кучевых облаков в зоне тайги

Если не выбран столбец, программа выдает сообщение для пользователя (см. рис. 3.14).

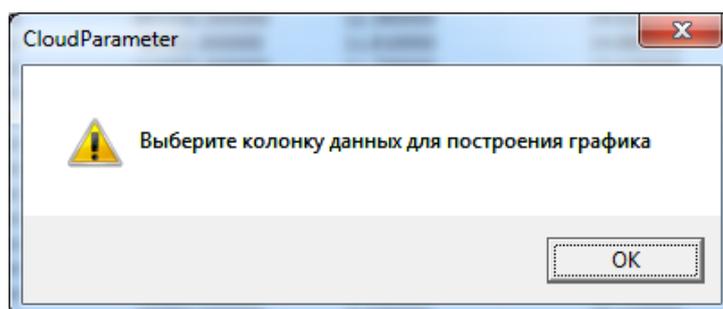


Рисунок 3.14 – Сообщение об ошибке

Таким образом, формируются сводные файлы характеристик облачности по годам, и строится годовой ход для каждой характеристики, каждого типа облачности в каждой природной зоне Западной Сибири.

4.5 Выводы к разделу

Спроектирована программная система для анализа сезонно-широтных закономерностей физических параметров облачности для разных природных зон Западной Сибири.

Построена UML-диаграмма вариантов использования (use case diagram), отражающая концептуальное представление поведения системы, и UML-диаграмма классов (class diagram) для отражения логического представления архитектуры системы. Для моделирования поведения проектируемой системы построена UML-диаграмма деятельности (activity diagram).

Выбраны средства разработки программной системы. В качестве среды разработки выбрана Microsoft Visual Studio. Программа будет реализована на языке программирования C++ с использованием библиотеки классов Microsoft Foundation Classes (MFC).

Разработанная программная система позволяет рассчитывать повторяемость и средние значения физических характеристик основных 16 типов облачности на спутниковых снимках. В программе реализована возможность построения годового хода физических параметров облачности по природным зонам Западной Сибири.

5 Результаты расчетов и их обсуждение

5.1 Повторяемость основных типов облачности на территории Западной Сибири

В результате тестирования программной системы обработано 363 проклассифицированных спутниковых снимка природных зон Западной Сибири за 2017 год. Выполнена оценка повторяемости различных типов облачности в пределах границ исследуемого региона для заданных природных зон и вычисляются средние значения ее характеристик в каждой из них. Таким образом, был получен файл со сводной таблицей, в которой хранятся характеристики различных разновидностей облаков для рассматриваемых природных зон Западной Сибири за 2017 год. Пример такой таблицы представлен на рисунке 4.1.

Дата(дд.мм.гггг)	Регион наблюдения	Тип облачности	Повторяемость	Оптическая толщина	Эффективный радиус (мкм)	Водозапас (г/м ³)	Фазовый состав (Оптика)	Фазовый сос
05.01.2017	58°-64°Болота	Слоистые	235650	9.26	23.67	176.21	2.55	3.63
05.01.2017	58°-64°Болота	Слоисто-дождевые	84429	10.69	14.47	481.98	2.46	2.70
05.01.2017	56°-58°Тайга	Слоистые	840073	10.13	27.40	207.32	2.70	4.60
05.01.2017	56°-58°Тайга	Кучевые и слоисто-кучевые	77763	21.52	13.26	135.80	2.14	1.09
05.01.2017	56°-58°Тайга	Высококучевые	201554	5.37	19.42	976.05	3.25	5.17
05.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	292450	19.30	13.81	700.04	2.78	3.94
05.01.2017	56°-58°Тайга	Высококучевые волнистообразные	108676	18.04	20.41	188.59	2.76	5.88
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Кучевые средние и мощные	166403	92.31	7.87	739.22	2.04	1.38
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Слоистые	536464	20.25	16.97	291.73	2.30	2.26
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Кучевые и слоисто-кучевые	500210	22.32	11.41	136.31	2.05	1.03
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Высококучевые	52910	9.60	21.62	1474.92	3.03	5.37
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Слоисто-дождевые	633471	34.43	11.29	560.09	2.15	2.07
05.01.2017	52°-56°Лесостепь	Высококучевые волнистообразные	100572	21.21	19.00	191.65	2.61	5.59
06.01.2017	58°-64°Болота	Слоистые	83805	11.87	24.15	153.95	2.58	4.01
06.01.2017	56°-58°Тайга	Слоистые	474100	8.00	30.59	115.10	2.86	5.14
06.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	76142	4.92	37.95	240.91	2.94	4.86
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Слоисто-кучевые волнистообразные	95409	20.11	7.03	80.44	2.04	1.01
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Слоистые	673641	16.20	18.47	149.72	2.32	2.42
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Кучевые и слоисто-кучевые	148737	22.11	12.22	144.96	2.12	1.04
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Высококучевые	373763	6.28	36.20	847.05	2.99	4.80
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Слоисто-дождевые	577785	17.69	19.99	447.16	2.37	2.34
06.01.2017	52°-56°Лесостепь	Высококучевые волнистообразные	133559	14.34	43.17	351.13	2.95	5.96
02.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-кучевые волнистообразные	138567	24.56	8.31	114.90	2.01	1.00
02.01.2017	56°-58°Тайга	Слоистые	1017686	22.26	10.73	245.24	2.07	1.88
02.01.2017	56°-58°Тайга	Кучевые и слоисто-кучевые	72673	29.92	10.59	165.41	2.04	1.02
02.01.2017	56°-58°Тайга	Высококучевые	106495	11.08	15.08	827.36	2.60	5.05
02.01.2017	56°-58°Тайга	Слоисто-дождевые	659342	36.51	9.84	440.51	2.04	1.51

Рисунок 4.1 – Сводная таблица повторяемости и средних значений физических характеристик облачности Западной Сибири

По данным полученной таблицы построен годовой ход различных характеристик рассматриваемых типов облачности. Например, на рисунках 4.2 – 4.4 представлены график повторяемости перистых нитевидных облаков (Ci fib). Как показали исследования [1], они, отражая солнечные лучи, защищают нашу планету от перегрева, а, преграждая путь восходящим теплым воздушным потокам, предотвращают чрезмерное ее охлаждение.

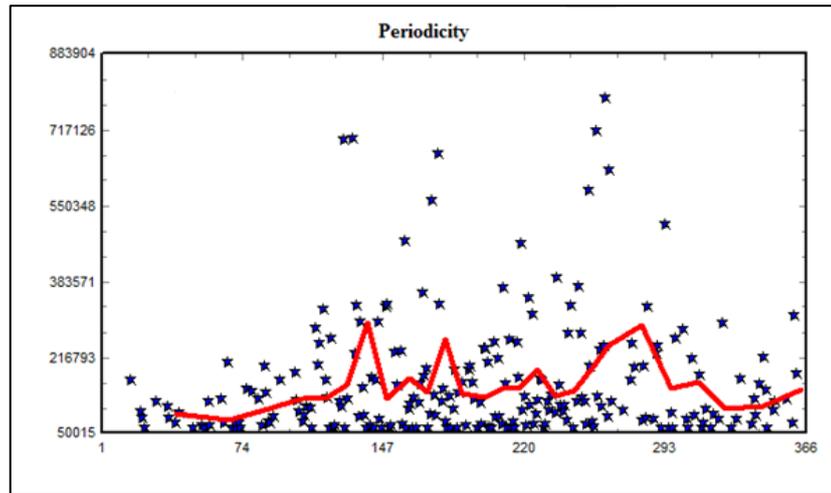


Рисунок 4.2 – Годовой ход повторяемости перистых нитевидных облаков для всех природных зон Западной Сибири

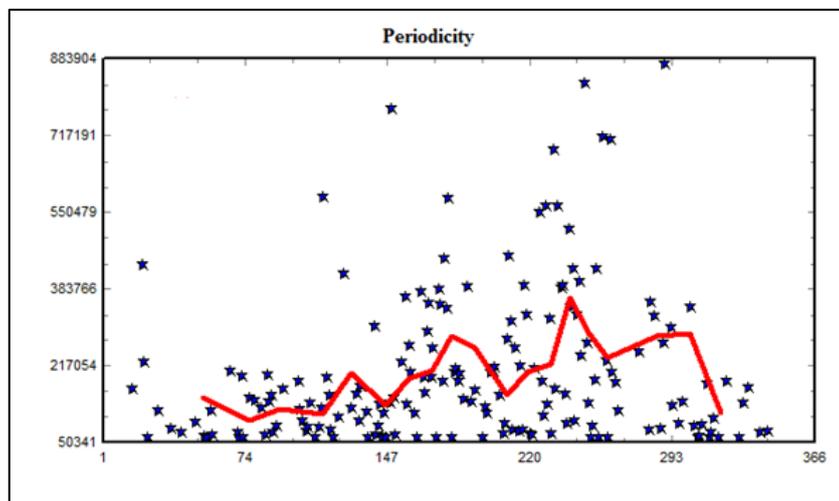


Рисунок 4.3 – Годовой ход повторяемости перистых нитевидных облаков для зоны болот

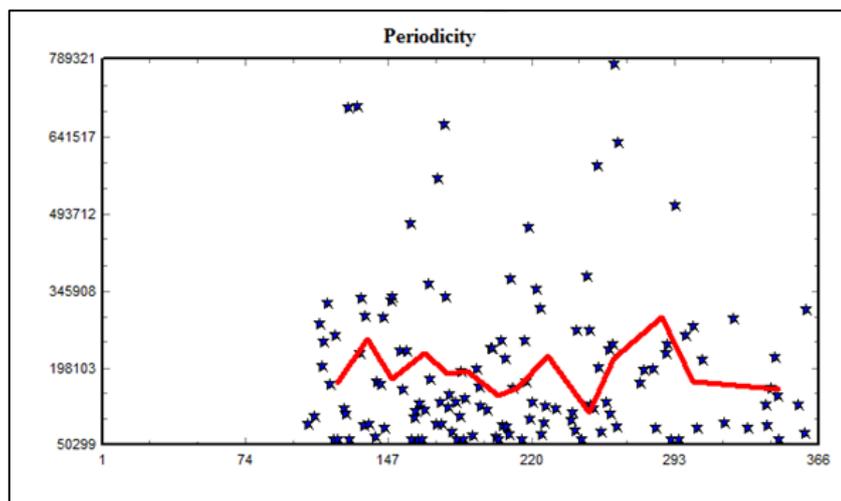


Рисунок 4.4 – Годовой ход повторяемости перистых нитевидных облаков для зоны лесостепи

Анализ полученных данных показал (см. рис. 4.5), что наиболее часто в течение года в Тундре и Лесотундре встречаются слоисто-дождевые облака, в природной зоне Болот – слоистые, в зоне Тайги - сочетание кучевых и слоисто-кучевых, в зоне Лесостепи – слоистые и сочетание кучевых и слоисто-кучевых.

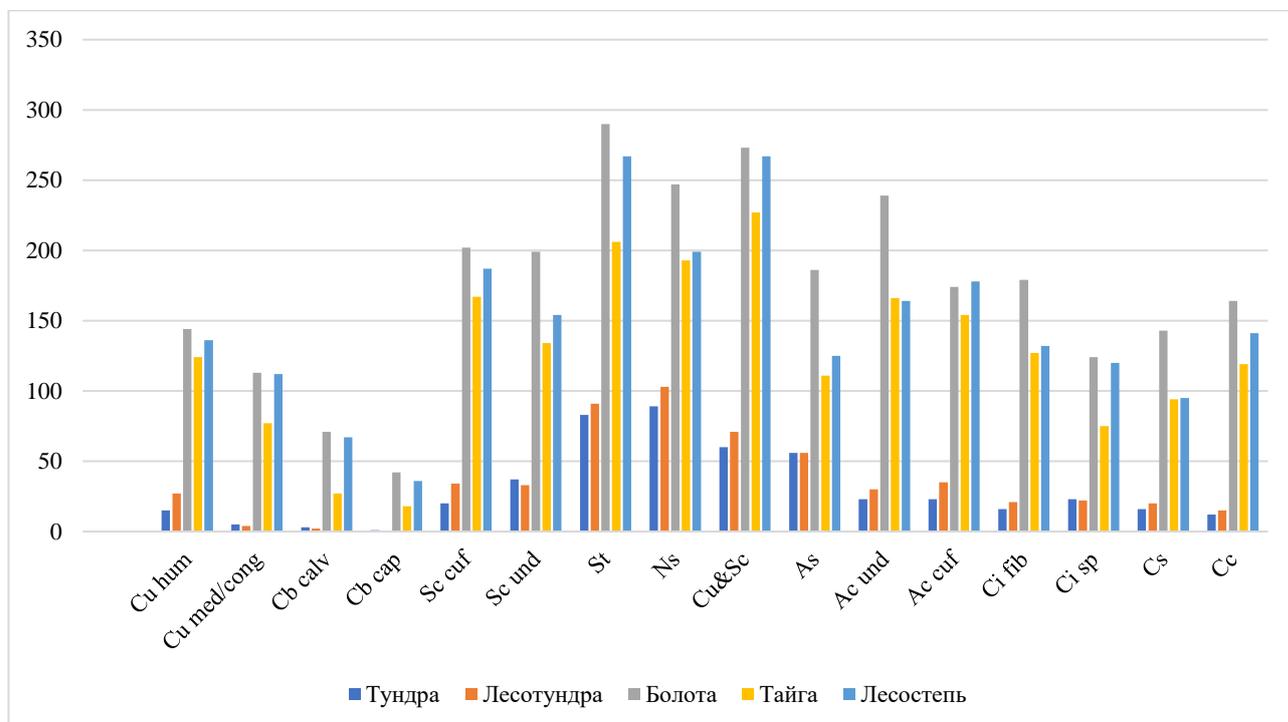


Рисунок 4.5 - Повторяемость основных типов облачности на территории Западной Сибири

На нижнем ярусе преобладают слоистые облака, на среднем - высококучевые волнистообразные, на верхнем - перистые нитевидные; из облаков вертикального развития наиболее часто повторяющимися оказались кучевые плоские облака.

Высокая повторяемость облаков слоисто-образных форм свидетельствует о преобладании процессов медленного поднятия воздушных масс и их растекания.

Значительное количество дней наблюдения высококучевых волнистообразных облаков указывает, например, на регулярную генерацию волн Кельвина-Гельмгольца.

Также можно предположить, что высокая повторяемость слоисто-дождевых и высокослоистых облаков связана с регулярным прохождением атмосферных фронтов.

5.2 Сезонно-широтные закономерности физических параметров облачности

Для того, чтоб во множестве точек выявить какую-либо динамику или закономерность в программе используется построение скользящего среднего – специальный метод сглаживания показателей.

Простое скользящее среднее, или арифметическое скользящее среднее (англ. simple moving average, англ. SMA) численно равно среднему арифметическому значений исходной функции за установленный период и вычисляется по формуле:

$$SMA_t = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^{n-1} p_{t-i} \quad (5.1)$$

где SMA_t – значение простого скользящего среднего в точке t ; n – сглаживающий интервал; p_{t-i} – значение исходной функции в точке $t-i$.

Чем шире сглаживающий интервал, тем более плавным получается график функции. В программе сглаживающий интервал равен 9.

Полученные результаты средних значений основных физических характеристик позволяют сделать ряд выводов.

Согласно спецификации MODIS, измерения радиуса облачных частиц проводятся как для капельных, так и для кристаллических облаков [22]. Поэтому наибольшие значения эффективного радиуса частиц $r_{эфф}$ наблюдается у облачности, состоящей из кристаллов льда, к которым относятся все облака верхнего яруса, слоисто-дождевая и высокостроистая облачность.

На рисунке 4.6 показаны графики годового хода эффективного радиуса частиц наиболее повторяющихся типов облаков.

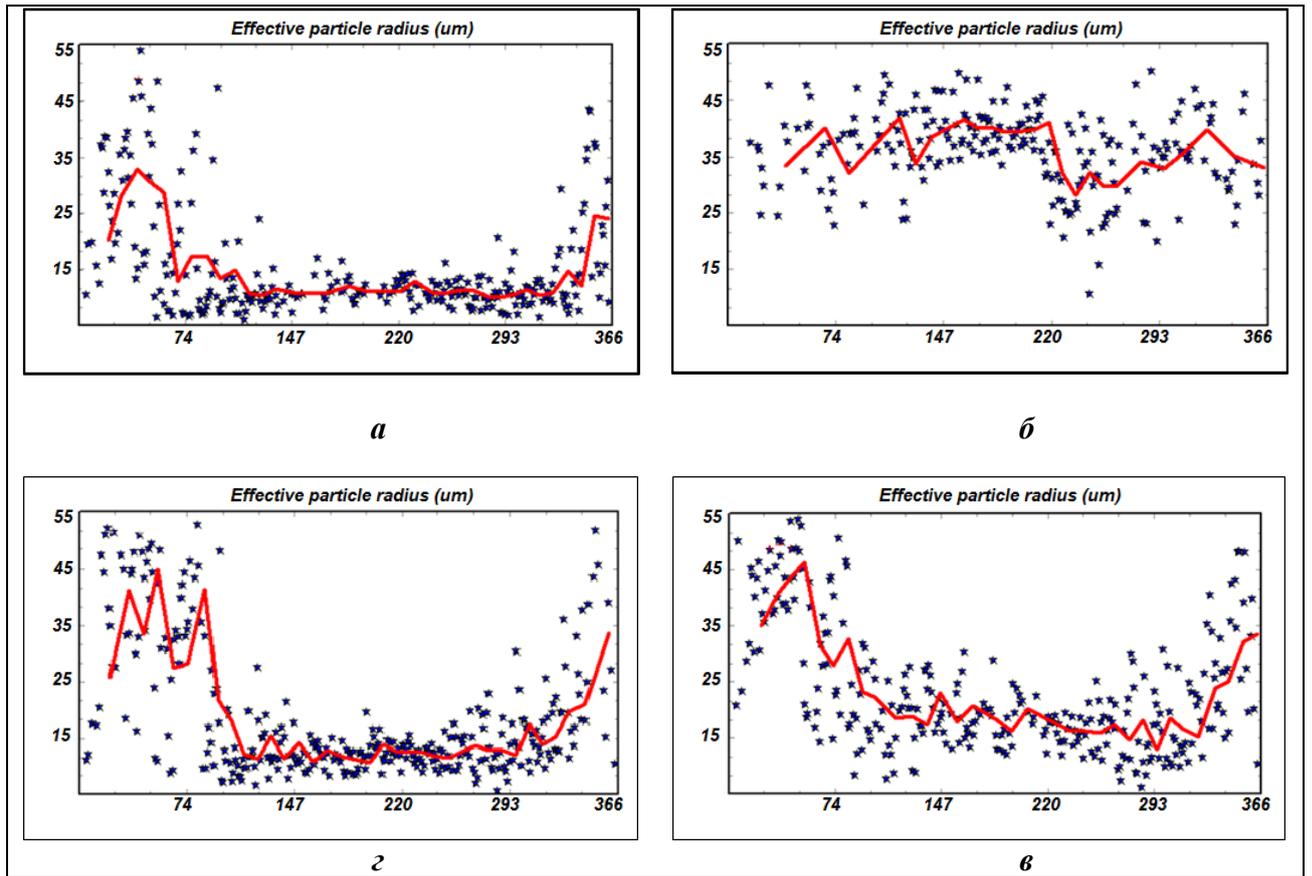


Рисунок 4.6 – Годовой ход эффективного радиуса частиц
 а – слоисто-дождевых облаков, б – перистых нитевидных облаков
 в – кучевых и слоисто-кучевых облаков г – высококучевых волнистообразных облаков

На рисунке 4.7 показан годовой ход водозапаса P слоисто-дождевых облаков для зоны болот и лесостепи. Эти данные можно интерпретировать следующим образом: увеличение влагосодержания атмосферы сопровождается увеличением водозапаса облаков.

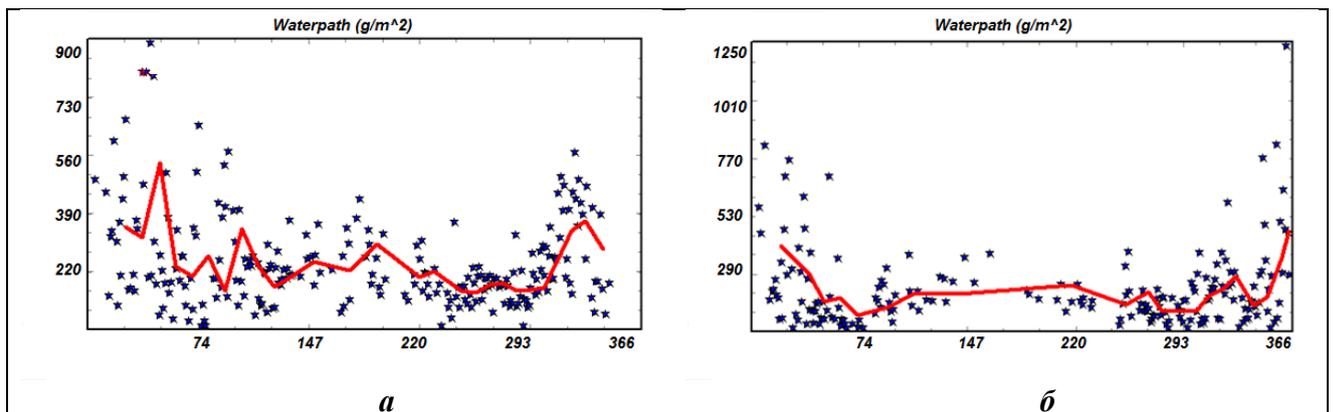


Рисунок 4.7 – Годовой ход водозапаса слоисто-дождевых облаков для зоны
 а – болот, б – лесостепи

5.3 Выводы к разделу

Используя разработанную программную систему, можно производить исследования региональных и сезонных вариаций повторяемости различных типов облачности и их характеристик над территорией Западной Сибири на основе результатов спутниковой съемки.

В ходе анализа повторяемости различных типов облачности в пределах границ исследуемого региона для заданных природных зон установлено, что на нижнем ярусе преобладают слоистые облака, на среднем - высококучевые волнистообразные, на верхнем - перистые нитевидные; из облаков вертикального развития наиболее часто повторяющимися оказались кучевые плоские облака. Также установлена широтная закономерность повторяемости облачности: наиболее часто в течение года в Тундре и Лесотундре встречаются слоисто-дождевые облака, в природной зоне Болот – слоистые, в зоне Тайги - сочетание кучевых и слоисто-кучевых, в зоне Лесостепи – слоистые и сочетание кучевых и слоисто-кучевых.

Физические характеристики облаков основных форм также непостоянны, а их значения имеют широтную зависимость. Использование предложенной методики позволяет определять межгодовой изменчивости структуры облачности над исследуемым регионом, что позволяет оценить взаимосвязь между происходящими процессами в системе «атмосфера – подстилающая поверхность» и роль облаков в региональных климатических изменениях.

6 Заключение

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы были решены все задачи, поставленные в начале ее выполнения.

Основные результаты работы заключаются в следующем:

1. Проведено исследование повторяемости 27 возможных типов облаков для нескольких климатических природных зон РФ на основе данных наземных наблюдений на метеостанциях. В результате которого установлено, что распределения облаков различных типов имеет сезонно-широтную зависимость. Например, в умеренных широтах над материками в болотистых местностях в весенне-летний период преобладает значительная облачность, в осенне-зимний период – малооблачная погода. Также построены гистограммы повторяемости основных типов облаков для различных климатических зон РФ.

2. Изучен принцип работы программы ANFIS, разработанной научным сотрудником ИОА СО РАН Скороходовым А.В. Программа основана на использовании нейро-нечеткой нейронной сети и методов параллельных вычислений, что позволяет классифицировать однослойную облачность на спутниковом снимке MODIS и получить спутниковое изображение в псевдоцветах.

3. Разработана программная система для анализа сезонно-широтных закономерностей повторяемости и физических параметров различных типов облачности Западной Сибири по данным MODIS. Исходными данными для программной системы являются проклассифицированные спутниковые снимки и тематические продукты MODIS: M(O/Y)D03 - файлы географической привязки и M(O/Y)D06_L2 - файлы с физическими параметрами облачности.

4. Использование программной системы позволяет выполнять полный цикл исследований, начиная от просмотра и визуализации спутниковых данных, и, заканчивая получением статистической информации о изменчивости значений различных параметров облачности.

5. В ходе тестирования программной системы обработано 363 проклассифицированных спутниковых снимка для различных природных зон Западной Сибири за 2017 год. В результате получены графики годового хода повторяемости и физических характеристик слоисто-дождевых, высококучевых волнистообразных и кучевых и слоисто-кучевых облаков.

Результаты работы представлены в докладах в соавторстве на Шестнадцатой Всероссийской Открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса» (12 - 16 ноября 2018 г., Москва) и Международном

Симпозиуме «Оптика атмосферы и океана. Физика атмосферы» (30 июня - 5 июля 2019 года, Новосибирск). Подготовлена статья в сборник Proceedings of SPIE, индексируемом в Web of Science.

7 Список использованных источников

1. Атлас облаков / Федер. служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), Гл. геофиз. Обсерватория им. А.И. Воейкова ; [Д. П. Беспалов и др. ; ред.: Л. К. Сурыгина]. – Санкт-Петербург : Д'АРТ, 2011. – 248 с.
2. IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
3. Uncertainty in Climate Sensitivity: Causes, Consequences, Challenges, Schwartz, S. E. *Energy Environ. Sci.* 1, 430-453. doi:10.1039/b810350j
4. Леонович, И. И. Дорожная климатология [Электронный ресурс]: [учебное пособие для вузов по специальности 1-70 03 01 "Автомобильные дороги" и для инженерно-технических работников ДСТ,ДСУ,ДЭУ и других организаций] / И. И. Леонович ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Строительство и эксплуатация дорог" . - Минск : БНТУ, 2007
5. *Meteorologische Zeitschrift: Aircraft induced contrail cirrus over Europe*, Н. Mannstein, Ulrich Schumann (2005-08): 549-554 doi: 10.1127/0941-2948/2005/0058
6. Глобальное потепление : Докл. Гринпис : [Пер. с англ. / Дж. Леггетт, С. Шнайдер, Д. Вудуэлл и др.]; Под ред. Дж. Леггетта. - М. : Изд-во МГУ, 1993. – 271 с.
7. Андреев А.О., Дукальская М.В., Головина Е.Г. Облака: происхождение, классификация, распознавание. Под ред. д-ра геогр. наук А.И. Угрюмова. Учебное пособие. СПб., изд. РГГМУ, 2007, 228 с.
8. Матвеев Л.Т. Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 752 стр.
9. OGIMET [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ogimet.com/>
10. Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.eostation.irk.ru/specification/spec_modis.html
11. Облака и облачная атмосфера. Справочник / Под ред. Мазина И.П., Хргиана А.Х. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 647 с.
12. С.П. Хромов, М.А. Петросянц – Метеорология и климатология: Учебник – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 528 с.
13. В.Г. Астафуров, А.В. Скороходов. Классификация многоярусной облачности по данным MODIS с использованием технологии нейронных сетей и методов нечеткой логики // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т.12. №6. С. 162 – 173.

14. Гагарина Л. Г., Кокорева Е. В., Виснадул Б. Д. Технология разработки программного обеспечения: учебное пособие / под ред. Л. Г. Гагариной. — М: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2008. — 400 с: ил. — (Высшее образование).
15. Технология разработки программного обеспечения : учебное пособие / В. Т. Калайда, В. В. Романенко ; Федеральное агентство по образованию, Томский гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники. - Томск : ТУСУР, 2007. - 237 с.
16. Буч, Гради Введение в UML от создателей языка / Гради Буч , Джеймс Рамбо , Айвар Якобсон. - М.: ДМК Пресс, 2015. - 496 с.
17. Буч, Грейди Язык UML. Руководство пользователя / Грейди Буч , Джеймс Рамбо , Айвар Джекобсон. - М.: ДМК, 2015. - 432 с.
18. Microsoft Visual Studio [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://en.wikipedia.org/wiki/Microsoft_Visual_Studio
19. Понамарев, Вячеслав Программирование на C++/C# в Visual Studio .NET 2003 / Вячеслав Понамарев. - М.: БХВ-Петербург, 2012. - 734 с.
20. Герберт Шилдт. MFC: Основы программирования: Пер. с англ. - Киев, издательская группа "BHV", 1997.
21. В.Г. Астафуров, А.В. Скороходов. Статистическая модель физических параметров облачности на основе тематических продуктов MODIS // Исследование Земли из космоса. 2017. № 5. С. 66 – 81.
22. MODIS Atmosphere [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://modis-images.gsfc.nasa.gov/trend_web/Timeseries9.html

Приложение А. Морфологическая классификация облачности
(справочное)

Таблица А.1 – Морфологическая классификация облачности

Форма	Вид	Разновидность
<i>Облака верхнего яруса</i>		
Перистые (Ci)	Перистые волокнистые (Ci fib)	Перистые когтевидные (Ci unc)
		Перистые хребтовидные (Ci vert)
		Перистые перепутанные (Ci int)
	Перистые плотные (Ci sp)	Перистые образовавшиеся из наковален кучево-дождевых облаков (Ci ing) Перистые хлопьевидные (Ci floe)
Перисто-кучевые (Cc)	Перисто-кучевые волнистообразные (Cc und)	Перисто-кучевые чечевицеобразные (Cc lent)
	Перисто-кучевые кучевообразные (Cc cuf)	Перисто-кучевые хлопьевидные (Cc floe)
Перисто-слоистые (Cs)	Перисто-слоистые волокнистые (Cs fib)	
	Перисто-слоистые туманообразные (Cs neb)	
<i>Облака среднего яруса</i>		
Высококучевые (Ac)	Высококучевые волнистообразные (Ac und)	Высококучевые просвечивающие (Ac trans)
		Высококучевые непросвечивающие (Ac op)
		Высококучевые чечевицеобразные (Ac lent)
		Высококучевые неоднородные (Ac inh)
	Высококучевые кучевообразные (Ac cuf)	Высококучевые хлопьевидные (Ac floe)
		Высококучевые башенковидные (Ac cast)
		Высококучевые образовавшиеся из кучевых (Ac sug)
Высокослоистые (As)	Высокослоистые туманообразные (As neb)	Высокослоистые туманообразные просвечивающие (As neb trans)
		Высокослоистые туманообразные непросвечивающие (As neb op)
		Высокослоистые туманообразные дающие осадки (As neb pr)
	Высокослоистые волнистообразные (As und)	Высокослоистые волнистообразные просвечивающие (As und trans)
		Высокослоистые волнистообразные непросвечивающие (As und op)
		Высокослоистые волнистообразные дающие осадки (As und pr)

Продолжение таблицы А.1

<i>Облака нижнего яруса</i>		
Слоисто-кучевые (Sc)	Слоисто-кучевые волнистообразные (Sc und)	Слоисто-кучевые просвечивающие (Sc trans)
		Слоисто-кучевые непросвечивающие (Sc op)
		Слоисто-кучевые чечевицеобразные (Sc lent)
	Слоисто-кучевые кучевообразные (Sc cuf)	Слоисто-кучевые башенковидные (Sc cast)
		Слоисто-кучевые растекающиеся дневные (Sc diur)
		Слоисто-кучевые растекающиеся вечерние (Sc vesp)
	Слоисто-кучевые вымеобразные (Sc mam)	
Слоистые (St)	Слоистые туманообразные (St neb)	
	Слоистые волнистообразные (St und)	
	Разорванно-слоистые (St fr)	Разорванно-дождевые (Frnb)
<i>Облака вертикального развития</i>		
Кучевые (Cu)	Кучевые плоские (Cu hum)	Разорванно-кучевые (Cu fr)
	Кучевые средние (Cu med)	
	Кучевые мощные (Cu cong)	Кучевые с покрывалом (Cu pil)
Кучево-дождевые волосатые (Cb cap)	Кучево-дождевые волосатые (Cb cap)	Кучево-дождевые лысые с грозовым валом (Cb calv arc)
		Кучево-дождевые волосатые с грозовым валом (Cb cap arc)
		Кучево-дождевые волосатые с наковальной (Cb cap inc)
		Кучево-дождевые волосатые плоские (Cb cap hum)
		Кучево-дождевые волосатые вымеобразные (Cb cap mam)

**Приложение Б. Диаграммы повторяемости облачности на территории РФ на
основе метеорологических данных
(справочное)**

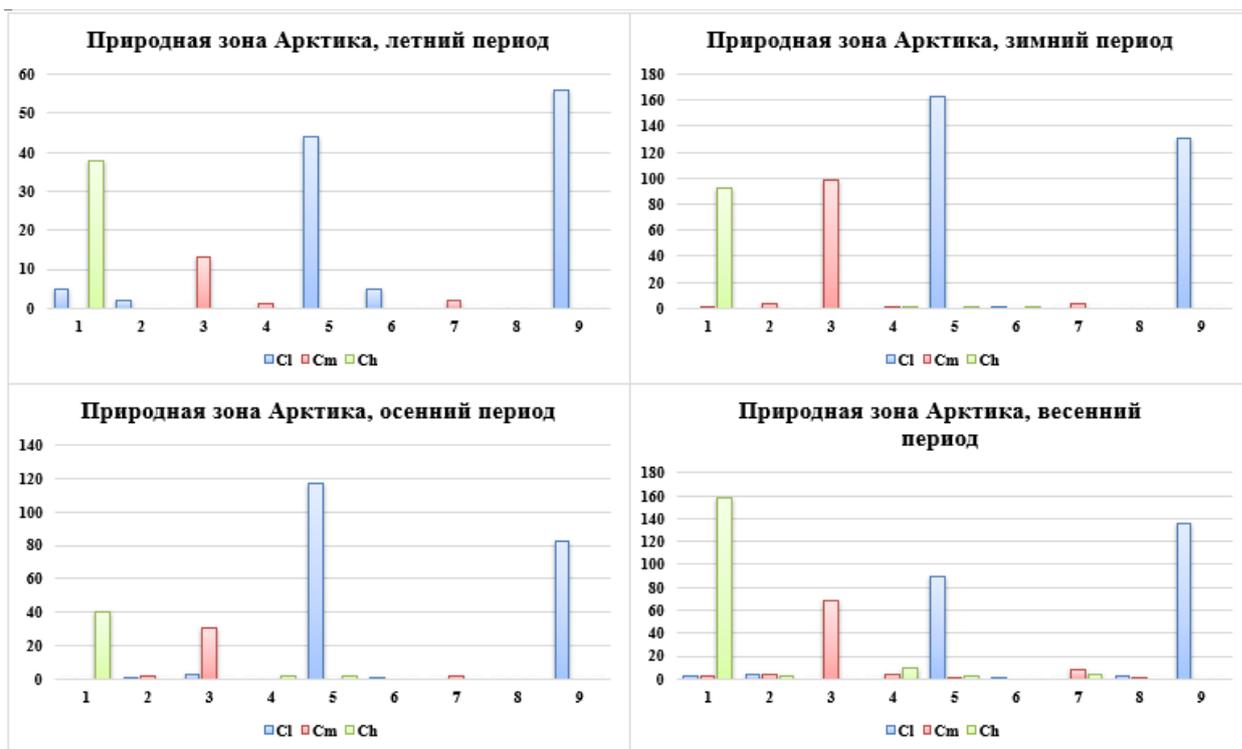


Рисунок Б.1 – Диаграммы частоты появления однослойных облаков для Арктики

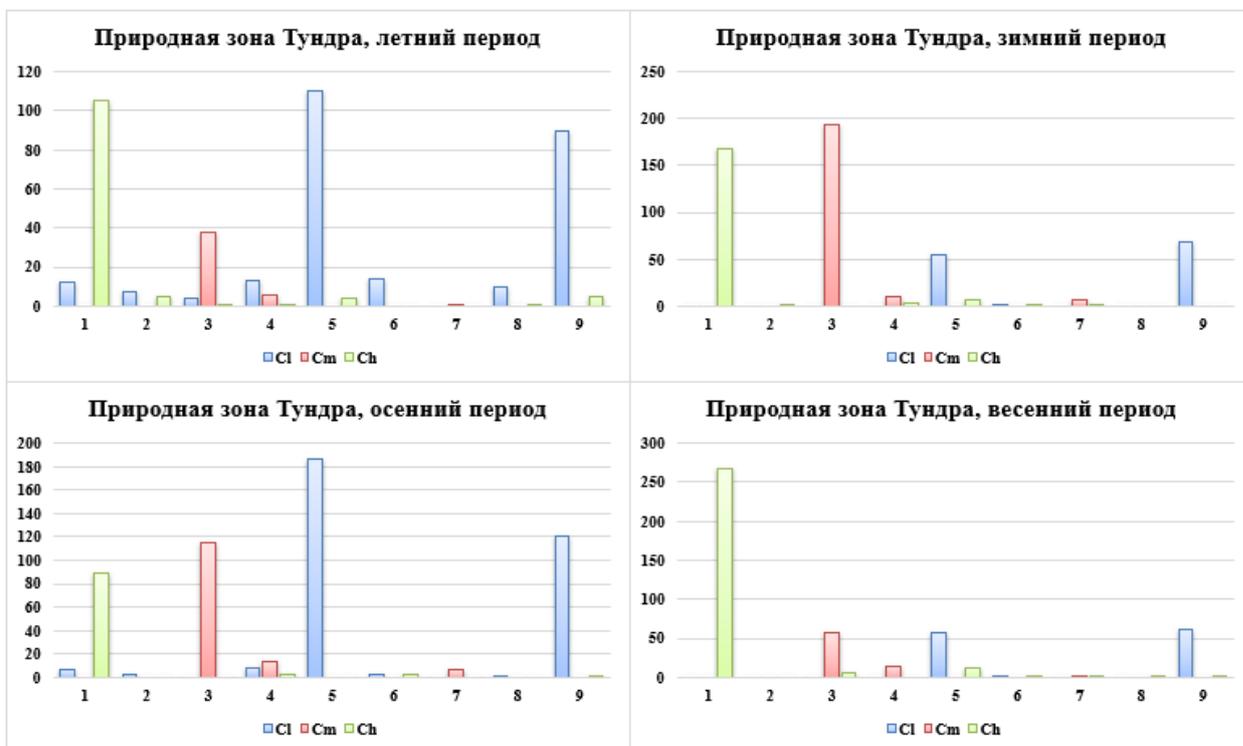


Рисунок Б.2 – Диаграммы частоты появления однослойных облаков для Тундры

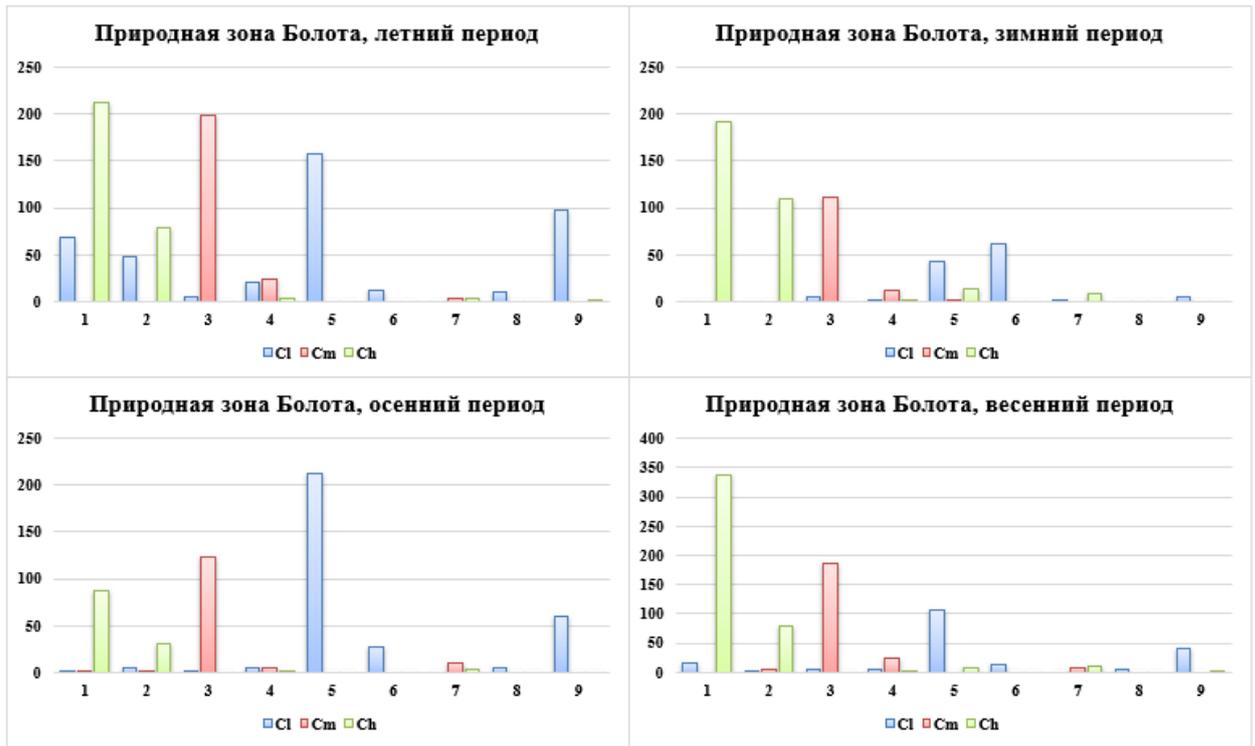


Рисунок Б.3 – Диаграммы частоты появления однослойных облаков для Болот

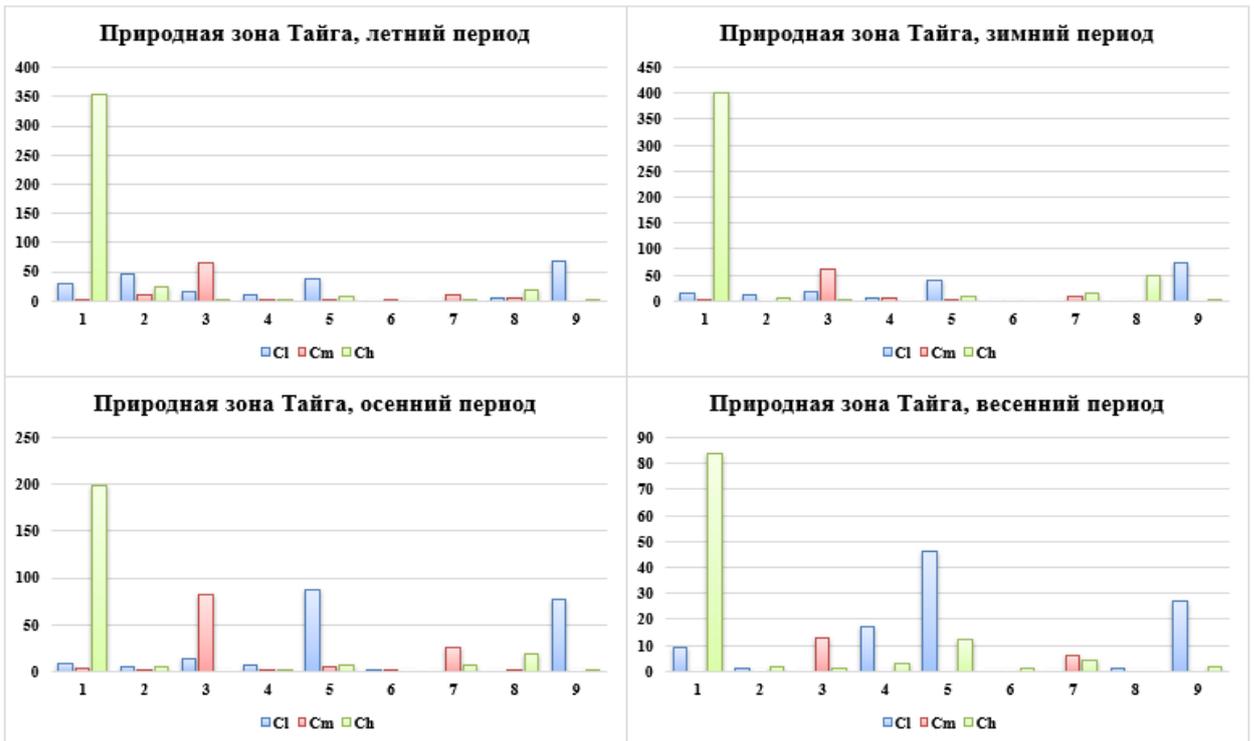


Рисунок Б.4 – Диаграммы частоты появления однослойных облаков для Тайги

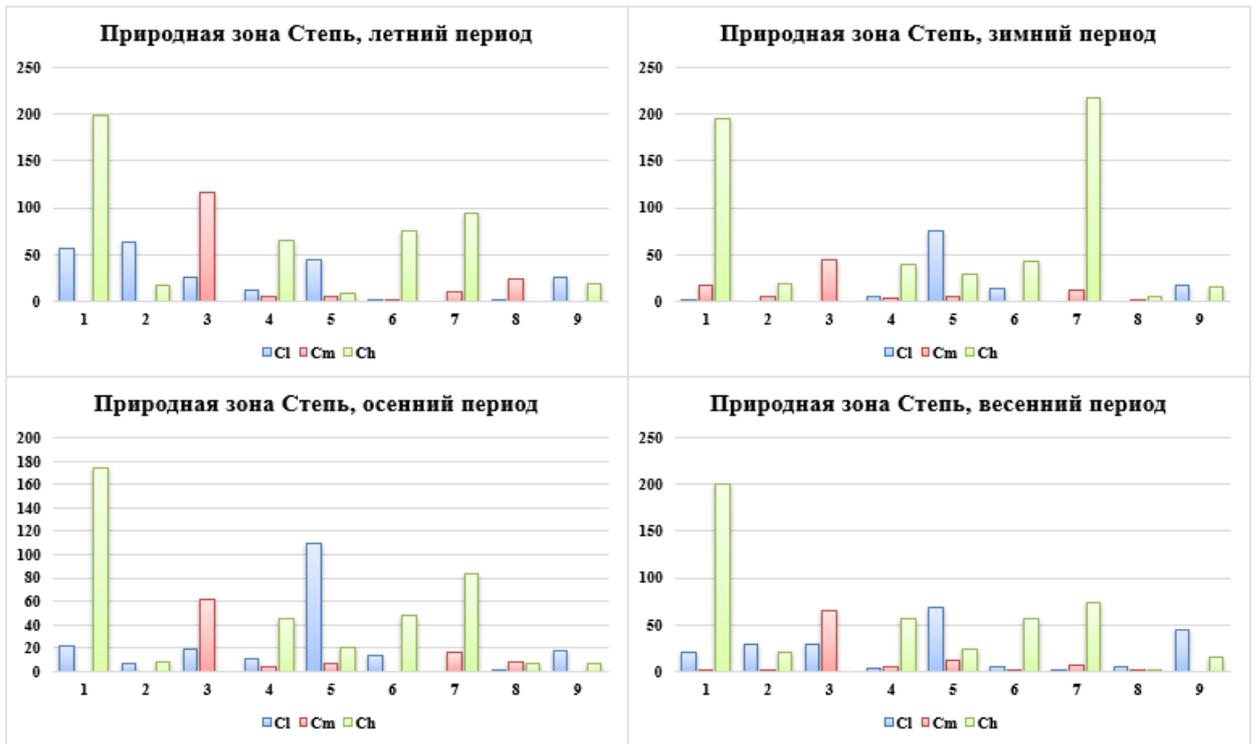


Рисунок Б.5 – Диаграммы частоты появления однослойных облаков для Степи

**Приложение В – Повторяемость облачности на территории Западной Сибири на
основе спутниковых данных**
(справочное)

Таблица В.1 – Повторяемость основных типов облачности для разных природных зон Западной Сибири

Тип облачности	Тундра	Лесотундра	Болота	Тайга	Лесостепь
Cu hum (кучевые плоские)	15	27	144	124	136
Cu med/cong (кучевые средние и мощные)	5	4	113	77	112
Cb calv (кучево-дождевые лысые)	3	2	71	27	67
Cb cap (кучево-дождевые волосатые)	1	0	42	18	36
Sc cuf (слоисто-кучевые кучевообразные)	20	34	202	167	187
Sc und (слоисто-кучевые волнистообразные)	37	33	199	134	154
St (слоистые)	83	91	290	206	267
Ns (слоисто-дождевые)	89	103	247	193	199
Cu&Sc (сочетание кучевых и слоисто-кучевых)	60	71	273	227	267
As (высокослоистые)	56	56	186	111	125
Ac und (высококучевые волнистообразные)	23	30	239	166	164
Ac cuf (высококучевые кучевообразные)	23	35	174	154	178
Ci fib (перистые нитевидные)	16	21	179	127	132
Ci sp (перистые плотные)	23	22	124	75	120
Cs (перисто-слоистые)	16	20	143	94	95
Cc (перисто-кучевые)	12	15	164	119	141