МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования

**«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова»**

Факультет И «Информационные и управляющие системы»

Кафедра И1 «Лазерная техника»

Научно-исследовательская работа

по теме

«Методы классификации типов облачности»

Выполнила

студентка группы И1М31

А. И. Бойцова

Проверил

И. А. Киселев

Санкт-Петербург

2017 г

**Содержание**

[Введение 2](#_Toc499054649)

[Методы классификации типов облачности 3](#_Toc499054650)

[1. Классификация облаков по условиям образования 4](#_Toc499054651)

[2. Морфологическая классификация облаков 5](#_Toc499054652)

[3. Классификация облаков по спутниковым снимкам на основе технологии нейронных сетей 10](#_Toc499054653)

[4. Послойная классификация многоярусной облачности на спутниковых снимках MODIS с использованием нейронной сети 11](#_Toc499054654)

[Заключение 14](#_Toc499054655)

[Список литературы: 15](#_Toc499054656)

# **Введение**

Автоматизация технологических процессов обработки изображений является одной из центральных и важных задач в разных отраслях промышленности. Она включает ряд основных этапов (восприятие поля зрения, сегментацию, нормализацию выделенных объектов, распознавание, визуализацию и поиск изображений) и в совокупности определяет необходимость создания эффективных методов и систем автоматизации технологических процессов обработки, визуализации и поиска изображений.

В последние годы так же предпринимались попытки автоматического распознавания типов облачности, связанные с разработкой программного обеспечения для распознавания типов облачности на основе анализа видеоизображения.

Актуальность задачи определяется наличием приборов, позволяющих производить точечные измерения (типа облакомеров различных производителей), но не способных оценить облачную обстановку по всему небосводу.

Для решения поставленной задачи требуются принципиально новые подходы к решению данной проблемы.

# **Методы классификации типов облачности**

Как известно, облака – взвешенные в атмосфере (в основном в нижнем слое – тропосфере) продукты конденсации водяного пара, видимые на небе невооруженным глазом и с поверхности Земли и из космического пространства.

В настоящее время получить классификацию облачности можно следующими способами:

1. На основе результатов наблюдений сети наземных и судовых метеостанций, расположенных по всему миру;
   * классификация облаков по условиям образования;
   * морфологическая классификация облаков;
2. Путем использования методов автоматической классификации облачности на спутниковых снимках [2, 3, 4];
   * классификация облаков по спутниковым снимкам на основе технологии нейронных сетей;
   * послойная классификация многоярусной облачности на спутниковых снимках MODIS с использованием нейронных сетей.

Результаты классификации на метеостанциях зависят от опыта и знаний техника-метеоролога, поскольку решение о типе наблюдаемой облачности принимается на основе его морфологического описания, приведенного в Атласе облаков [1]. В результате можно классифицировать облака сразу нескольких ярусов одновременно при наличии полупрозрачной облачности, разрывов между облаками и некоторых других условиях.

Методы автоматической классификации облачности по спутниковым снимкам в настоящее время не обладают достаточной полнотой, поскольку позволяют разделять облака только по 10–14 разновидностям из 27 возможных. Существенным недостатком методов автоматической классификации облачности по спутниковым данным является их низкая эффективность при наличии на снимках полупрозрачных облаков верхнего и среднего ярусов, искажающих текстуру изображения нижележащей облачности. В этом случае возникает неопределенность, к какой разновидности облаков отнести исследуемый фрагмент облачности.

Облака подразделяются на виды, разновидности и по дополнительным признакам в соответствии с международной классификацией облаков. Разберем каждый метод классификации подробнее.

## **Классификация облаков по условиям образования**

По условиям образования различают облака фронтальные и внутримассовые. Происхождение фронтальных облаков объясняется процессами, происходящими на границах раздела между различными воздушными массами, а внутримассовых облаков – процессами внутри однородных воздушных масс: термической и динамической конвекцией, турбулентным перемешиванием и волновыми движениями (или адвекцией облачных систем) [1].

К фронтальным облакам относятся облака восходящего скольжения (перистые, перисто-слоистые, высокослоистые, слоисто-дождевые). Они образуются при встрече тёплых и холодных воздушных масс и возникают в результате адиабатического охлаждения тёплого воздуха при его подъёме по холодному.

Внутримассовые облака включают в себя конвективные (кучевые и кучево-дождевые), волнистообразные (перисто-кучевые, высококучевые и слоисто-кучевые) и облака турбулентного перемешивания (слоистые).

Конвективные облака бывают двух видов:

1. Облака термической [конвекции](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F) формируются за счёт неравномерного нагрева снизу и подъёма более тёплых воздушных масс;
2. Облака динамической конвекции формируются за счёт вынужденного подъёма воздуха перед горами.

Волнистые облака образуются в [антициклонах](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D1%82%D0%B8%D1%86%D0%B8%D0%BA%D0%BB%D0%BE%D0%BD) при [инверсии](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%B8%D1%8F_(%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B3%D0%B8%D1%8F)), когда нижняя граница инверсии совпадает с уровнем [конденсации](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%81%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F). На границе между тёплым менее плотным (сверху) и холодным более плотным (снизу) воздухом при движении развиваются воздушные волны.

Облака турбулентного перемешивания — результат поднятия воздуха при усилении ветра, особенно если в приземных слоях наблюдается туман, который постепенно переходит в слоистые облака.

## **Морфологическая классификация облаков**

Основными отличительными признаками при определении формы облаков является их внешний вид и структура. Облака могут быть расположены на разных высотах в виде отдельных изолированных масс или сплошного покрова, их строение может быть различным (однородным, волокнистым и др.), а нижняя поверхность ровной или расчлененной (изорванной). Кроме того, облака могут быть плотными и непрозрачными или тонкими – сквозь них просвечивает голубое небо или солнце.

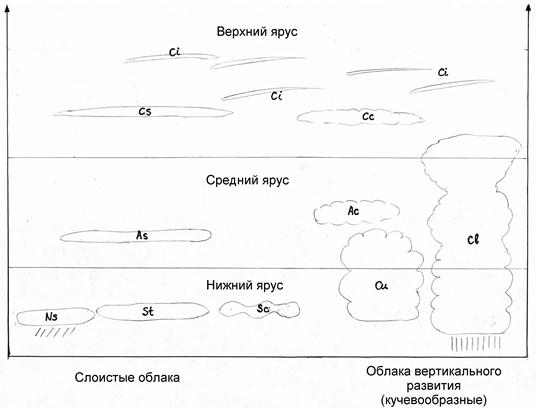


Рисунок 1 - Распределение облаков по ярусам согласно классификации всемирной метеорологической организации

В таблице 1 представлена классификация по видам и высотам в соответствии с международной морфологической классификацией облаков.

Таблица 1 - Морфологическая классификация облаков

|  |  |
| --- | --- |
| Семейства | Род |
| Облака верхнего яруса (в средних широтах высота – от 6 до 13 км) | Перистые (Cirrus, Ci) Перисто-кучевые (Cirrocumulus, Cc) Перисто-слоистые (Cirrostratus, Cs) |
| Облака среднего яруса (в средних широтах высота – от 2 до 6 км) | Высококучевые (Altocumulus, Ac) Высокослоистые (Altostratus, As) |
| Облака нижнего яруса (в средних широтах высота — до 2 км) | Слоисто-дождевые (Nimbostratus, Ns)[[2]](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D0%B0#cite_note-wmo-cloud_classifications-2) Слоисто-кучевые (Stratocumulus, Sc) Слоистые (Stratus, St) |
| Облака вертикального развития (облака конвекции) | Кучевые (Cumulus, Cu) Кучево-дождевые (Cumulonimbus, Cb) |

* Верхний ярус – ледяные, белого цвета, не затеняющие Солнце.

Перистые облака (Ci): состоят из отдельных перистообразных элементов – в виде тонких, белых нитей, белых клочьев и вытянутых гряд. Они имеют волокнистую структуру и шелковистый блеск. Из-за сильных ветров они имеют характерную форму вытянутых, растрепанных «кобыльих хвостов». Имеют значительное вертикальное протяжение (порядка сотен метров). Перистые облака разделяют на виды: нитевидные, когтевидные, башнеобразные, плотные, хлопьевидные.

Перисто-кучевые облака (Сс): высокие и пушистые, состоящие из отдельных образований (очень мелких зерен, хлопьев, шариков, завитков). Они напоминают рябь на поверхности воды или песка. Часто образуют красивые, регулярные волны: «небо в барашках». Перисто-кучевые облака разделяют на виды: слоистообразные, башнеобразные, хлопьевидные.

Перисто-слоистые облака (Cs): ледяная вуаль, тонкая, молочно-белая, прозрачная. Солнце просвечивает через них так ярко, что вокруг него появляются кольца (гало), а иногда и ложные солнца. Толщина слоя от сотен метров до километра. Перисто-слоистые разделяют на туманообразные.



Рисунок 2 - Облака верхнего яруса

* Средний ярус **–** имеют смешанную структуру из смеси капелек с ледяными кристаллами, частично просвечивают Солнце.

Высококучевые облака (Aс): на средних высотах похожи на хлопья, валики белого или серого цвета. В отличии от перисто-кучевых облаков, более высоких, у них всегда более темные края. Это достаточно тонкие облака. Для высококучевых облаков, характерны такие оптические явления, как иризация и венцы. Высококучевые облака разделяют на виды: слоистообразные, башнеобразные, хлопьевидные.

Высокослоистые (As): застилают небосвод целиком или частично. Через отдельные облака, менее плотные, может просвечивать Солнце или Луна. В этом случае они видны, как бы через стекло, в виде размытых пятен. Это типичные смешанные облака. Дают слабые осадки. Гало не наблюдается.

Особенностью высокослоистых облаков является нижняя поверхность, которая иногда имеет вымеобразный вид.



Рисунок 3 - Облака среднего яруса

* Нижний ярус **–** полностью состоят из капель. Полностью затемняют Солнце.

Слоисто-дождевые (Ns): серый облачный покров, часто мрачного вида, кажущийся размытым. Слой облаков более мощный, чем у высокослоистых, поэтому Солнце и Луна через них не просвечивают. Эти облака находятся в нижнем и среднем, а зачастую и в верхнем ярусах. Это смешанные облака: в нижней части состоят из крупных капель и снежинок, а в верхней – из мелких капель и мелких же снежинок.

Слоисто-кучевые (Sc): часто образуются из верхних кучевых облаков, когда те поднимаются и растекаются в стороны. Если смотреть на них с самолета, то они выглядят, как волнистое одеяло из валиков и выступов с просветами. Это водяные облака, поэтому осадков они не дают. Слоисто-кучевые облака разделяют на слоистообразные и башнеобразные облака.

Слоистые (St): являются водными или смешанными – выглядят, как однородный, серый слой. При малой плотности через них просвечивает Солнце, при этом оно имеет четкие очертания. Из слоистых облаков может выпадать морось, а зимой – ледяные иглы, мелкий снег, снежные зерна. Мощность слоя до нескольких сотен метров. Слоистые облака разделяют на виды: туманообразные и разорванные.

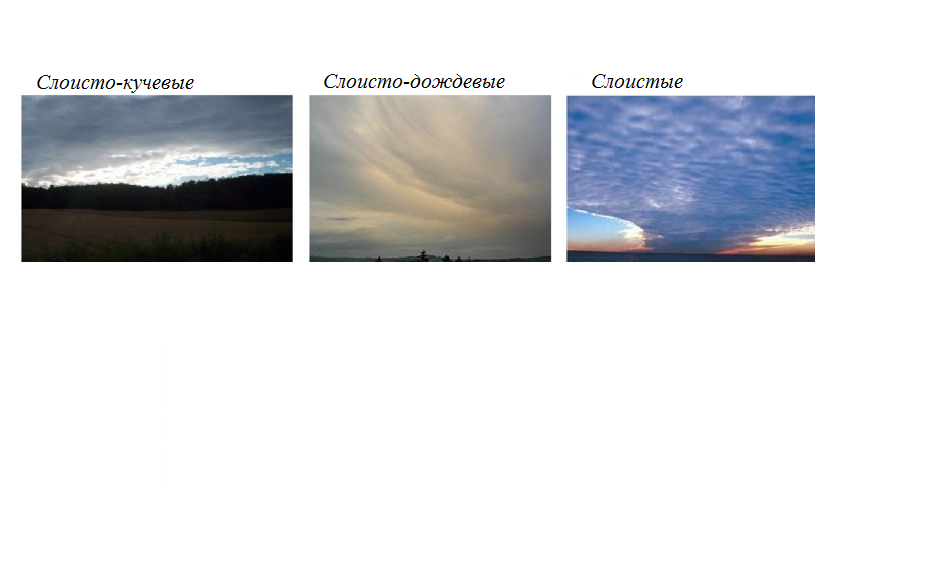


Рисунок 4 - Облака нижнего яруса

* Облака вертикального развития **–** отдельные плотные облачные массы, сильно развитые по вертикали, затемняют Солнце.

Кучевые (Cu): плотные облака с резко обозначенными контурами. Развиваются вверх, образуя плотные белые верхушки, похожие на цветную капусту, основания облаков сравнительно темные. Это водяные облака, поэтому осадков не дают (за исключением тропиков, где из мощных кучевых облаков могут выпадать небольшие дожди). Кучевые облака разделяют на виды: плоские, мощные и разорванные.

Кучево-дождевые (Cb): больше и темнее, результат дальнейшего развития кучевых по вертикали. Вертикальная мощность кучево-дождевых облаков может изменяться от 3 до 15 км. Они сильно изменяют освещение (уменьшают), так как закрывают Солнце. Это смешанные облака: в нижней части находятся капли, в средней – капли и кристаллы, в верхней – кристаллы. Именно с этими облаками связаны ливни, грозы, шквалы и смерчи. В полярных широтах редки. Кучево-дождевые облака разделяют на виды: лысые и волосатые.



Рисунок 5 - Облака вертикального развития

## **Классификация облаков по спутниковым снимкам на основе технологии нейронных сетей**

Процедура классификации облаков по типам на основе данных дистанционного зондирования Земли из космоса основывается на следующем алгоритме:

1. Сегментация спутниковых снимков для предварительного анализа;
2. Определение участков облачности со сходными характеристиками (спектральные признаки, текстура, цвет);
3. Оценка эффективности выбранной системы признаков;
4. Классификация облачности.

Использование спектральных характеристик позволяет определять параметры облачности (температура верхней границы, альбедо) и индекс NDSI, который позволяет разделять облака, снег, лед и туман.

На спутниковых снимках различные типы облаков отличаются по своей текстуре – некоторым образом организованный локальный участок изображения облачности, обладающий свойством однородности видеоданных. Поэтому наиболее подходящим вариантом получения качественных результатов классификации облаков является использование наборов их текстурных признаков (ТП) и многослойной нейронной сети (НС) в качестве классификатора.

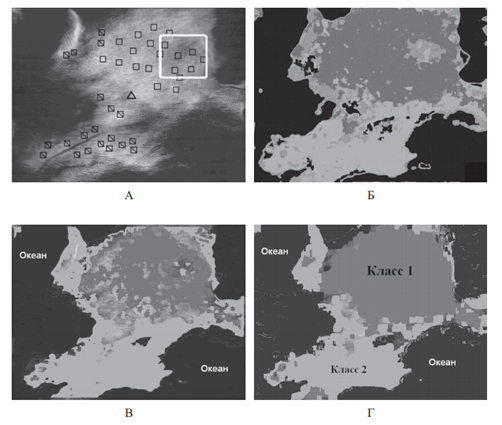


Рисунок 6 - Исходное изображение (а); результат сегментации самоорганизующейся нейронной сетью (б); результат классификации облаков двухслойной нейронной сетью (в); результат классификации облаков трехслойной нейронной сетью (г)

## **Послойная классификация многоярусной облачности на спутниковых снимках MODIS с использованием нейронной сети**

При решении задач автоматической классификации изображений начальным этапом является поиск характерных образцов для них и составление обучающей и тестовой выборок (рисунок 7, таблица 2).

Очевидно, что текстурные признаки будут иметь различную информативность при описании разных типов облаков. Можно предположить, что признаки «контраст» и «дисперсия» будут малоэффективны для описания текстуры малоконтрастных изображений перистой, перисто-слоистой и слоистой облачности. Поэтому необходимо сформировать систему классификационных характеристик, которая бы позволила эффективно

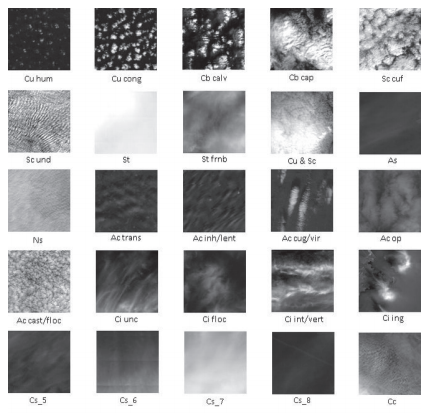


Рисунок 7 - Эталонные фрагменты изображений типов облачности

Таблица 2 - Используемая классификация облаков



классифицировать различные типы облаков. Оптимальным можно считать набор текстурных признаков, полученный в результате проведения полного перебора всех существующих комбинаций этих признаков с оценкой качества классификации, например, тестовой выборки.

Основная идея метода заключается в последовательном переборе текстурных признаков с выбором наиболее информативного из них по результатам оценки вероятности правильной классификации тестовой выборки. Процедура перебора заканчивается, если на очередном шаге не определен признак, улучшающий достоверность классификации тестовой выборки, либо, когда в информативном наборе представлены все рассматриваемые классификационные характеристики.

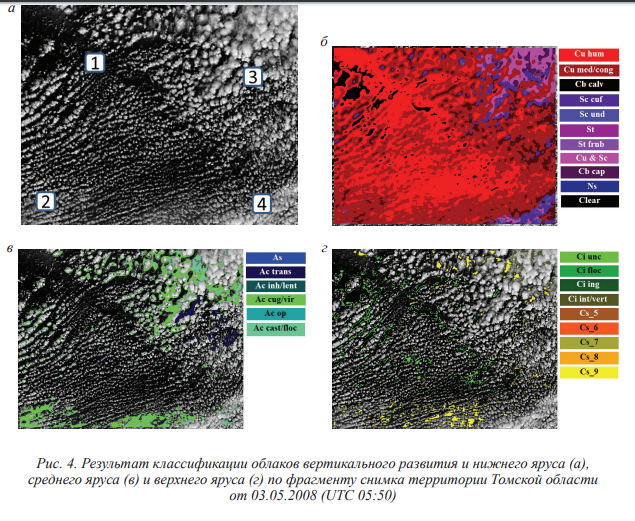


Рисунок 8- Результат классификации облаков вертикального резвития и нижнего яруса (а), среднего яруса (в) и верхнего яруса (г)

# **Заключение**

В результате написания научно-исследовательской работы был получен материал, анализ которого позволил заключить, что наиболее эффективным является корреляционный метод определения с использованием текстурных признаков облачности.

Определение такого подхода к автоматическому распознаванию типов облачности, а также результаты проведенного теоретического анализа литературы позволяет приступить к решению поставленной проблемы следующим образом – созданию алгоритма распознавания типов облачности, на основе заранее заданных классификаторов и данных, получаемых с облакомера.

# **Список литературы:**

1. Беспалов Д.П., Девяткин А.М., Довгалюк Ю.А., Кондратюк В.И., Кулешов Ю.В., Светлова Т.П., Суворов С.С., Тимофеев В.И. Атлас облаков. СПб.: Д’АРТ, 2011. 248 c.
2. Bankert R.L., Mitrescu C., Miller S.W., Wade R.H. Comparison of GOES cloud classification algorithms employing explicit and implicit physics // J. Appl. Meteor. Climatol. 2009. V. 48. P. 1411–1421.
3. Волкова Е.В. Оценки параметров облачного покрова, осадков и опасных явлений погоды по данным радиометра AVHRR c МИСЗ серии NOAA круглосуточно в автоматическом режиме // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2013. Т. 10. № 3. С. 66−74.
4. Астафуров В.Г., Скороходов А.В. Применение нейросетевых технологий для классификации облачности по текстуре снимков MODIS высокого разрешения // Исследование Земли из космоса. 2014. № 5. С. 39−49.