Развитие методов автоматического распознавания ледового покрытия на основе спутниковых данных оптического и ближнего инфракрасного диапазона для системы мониторинга рыболовства

А. Ю. Дегай, М. В. Андреев, В. А. Егоров, В. Н. Пырков, В. Н. Черных

Институт космических исследований РАН, Москва, 117997, Россия E-mail: pyrkov@d902.iki.rssi.ru

Рассмотрена принципиально новая возможность автоматического определения границы льда и классификации ледового покрытия на основе спутниковых снимков в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах для последующего представления в картографических сервисах отраслевой системы мониторинга (ОСМ). Описаны этапы разработки методики определения автоматической классификации на основе анализа двумерных гистограмм. Гистограммы строились с использованием нормализованных индексов. Особое внимание уделено сравнительному сезонному анализу гистограмм. Предварительные результаты автоматической классификации представлены в рамках сервиса предоставления классификации ледового покрытия на основе спутниковых данных, интегрированного в картографический интерфейс ОСМ. Предложены направления развития автоматической классификации ледового покрова и сервисов ОСМ, связанных с представлением ледовой обстановки.

Ключевые слова: классификация ледового покрытия, дистанционное зондирование, обработка спутниковых снимков (дешифрирование, распознавание), отраслевая система мониторинга (OCM)

Одобрена к печати: 15.07.2021 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-27-40

Введение

Система мониторинга рыболовства (отраслевая система мониторинга — OCM) эффективно используется для контроля промысла водных биологических ресурсов, планирования промысловых работ, а также для повышения безопасности вождения судов (Солодилов, Пырков, 2011). Эта система была разработана в 2000 г. и находится в эксплуатации более пятнадцати лет. Для того чтобы эффективность ОСМ не снижалась в условиях новых требований, проводятся работы по её совершенствованию и модернизации.

Важным направлением развития сервисов ОСМ является информация о границе ледового покрова в промысловых зонах. Как показано в работе (Солодилов, Пырков, 2011), актуальность и полнота информации о ледяном покрове важна как для обеспечения безопасности судов, так и для более эффективного проведения вылова водных биологических ресурсов.

Для России решение данной задачи наиболее актуально для Охотского моря. Это связано с тем, что Охотское море — самое продуктивное в России. При этом оно обладает обширной площадью ледового покрытия в период минтаевой путины, когда производится вылов основного объёма водных биологических ресурсов, что требует актуальной информации о состоянии ледового покрова.

В настоящее время в автоматическом режиме регулярно представляются данные по ледовой обстановке на основе микроволновых спутниковых данных, например Федеральным государственным бюджетным учреждением «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт» (ФГБУ ААНИИ). Необходимо отметить, что пространственное разрешение таких данных — не более 5 км. Для принятия оперативных решений по рыболовному промыслу и проведения работ по обеспечению безопасности мореплавания во многих случаях этого достаточно, но нет сомнений в необходимости улучшения пространственного разрешения информации о ледовом покрытии. Уточнённые данные по ледовой обстановке предоставляются также по данным радарных спутниковых снимков и снимков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, требующие «ручной» работы экспертов, в основном по анализу текстуры изображения.

Материалы съёмки MODIS (*анел.* Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) также предоставляют данные по льдам и снегу. Но использование этого продукта крайне неудобно, так как облачность и лёд представлены одним цветом. Оператор на основе контекста и текстуры, а также проводя сравнение с данными предыдущих суток, должен разделить лёд и облачность.

Использование данных прибора Terra-MODIS важно для построения методики классификации ледового покрытия по причине доступности информации в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах с относительно хорошим разрешением по всему земному шару на каждые сутки. Исключением оказывается период полярной ночи в приполярных областях, когда отсутствует любое отражённое излучение.

В докладах (Андреев и др., 2015; Дегай и др., 2016) на основе гистограмм по нормализованным индексам по результатам машинного обучения была представлена методика полностью автоматизированной классификации ледового покрытия. Машинное обучение проводилось по алгоритму Random Forest. Алгоритм заключается в использовании ансамбля решающих деревьев (Breiman, 2001).

В настоящей работе рассмотрена возможность совершенствования алгоритмов автоматизированной классификации ледового покрытия на основе спутниковых снимков с помощью комплексного анализа гистограмм нормализованных индексов для последующего представления в картографических сервисах ОСМ. Описаны основные этапы методики определения автоматической классификации и предварительные результаты.

Важный шаг в совершенствовании методики заключается в проведении сезонного анализа гистограмм нормализованных индексов.

Сервис предоставления классификации ледового покрытия на основе спутниковых данных разработан и интегрирован в картографический интерфейс OCM на основе докладов (Андреев и др., 2015; Дегай и др., 2016). В заключение предложены направления развития автоматической классификации ледового покрова и сервисов OCM, связанных с представлением ледовой обстановки.

Постановка задачи

Настоящая работа стала продолжением темы докладов (Андреев и др., 2015; Дегай и др., 2016) в направлении совершенствования автоматической классификации ледового покрытия по снимкам спектрорадиометра MODIS.

Основной целью работ, представленных в вышеуказанных докладах и данной статье, стала разработка эффективного алгоритма автоматизированной классификации ледового покрытия.

Перед авторами стояла задача выяснения возможности совершенствования методики классификации ледового покрытия путём проведения сезонного анализа параметров спутни-ковых изображений.

Поскольку материалы вышеуказанных докладов отсутствуют в публичном доступе, в нижеследующем разделе «Методика» описаны основные принципы построения гистограмм нормализованных индексов, используемых в методике классификации ледового покрытия как в упомянутых докладах, так и в настоящем исследовании. При описании методики выделены особенности действий, не использованных в предыдущих работах.

В качестве региона исследования было выбрано Охотское море, важность работы в данном регионе обоснована ранее. Анализ проводится по большей территории Охотского моря и западной части Берингова моря в районе Карагинского залива. Для работы были выбраны стандартные продукты MOD09 Terra-MODIS, две гранулы MODIS: H26V03 и H27V03, предоставляющие ежедневные наблюдения выбранной области в синусоидальной проекции.

Методика

Для отработки методики классификации ледовой обстановки были взяты архивные данные MODIS за 2011–2015 гг. При обработке данных использовалась маска воды, т.е. обрабатыва-

лись только точки, относящиеся к водной поверхности. Отработка метода проводилась с использованием данных гранулы H26V03 MODIS. Эта гранула охватывает следующие области: части Берингова моря, Камчатки, Охотского моря, Сахалина, Татарского пролива, Приморья.

На *рис.* 1 показано изображение гранулы H26V03 в синусоидальной проекции.

Используемые входные данные представлены ежедневными измерениями прибора Terra-MODIS в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра — стандартными продуктами MOD09 в формате EOS HDF.

Спектральные каналы приведены в *табл. 1.* Один исходный файл содержит несколько многоканальных измерений (сцен), что соответствует количеству наблюдений этого района за конкретный день. Одна сцена территориально покрывает только фрагмент гранулы.



Рис. 1. Изображение гранулы H26V03 с наложением маски воды в синусоидальной проекции

Номер канала	Длина волны, нм	Комментарий
1	620–670	Red
2	841-876	NIR
3	459–479	Blue
4	545-565	Green
5	1230-1250	NIR
6	1628–1652	SWIR
7	2105-2155	SWIR

Таблица 1. Каналы спектрорадиометра MODIS, поставляемые в продукте MOD09

Примечание: Red — красный канал; Blue — синий; Green — зелёный; NIR (*англ*. near infrared) — ближний инфракрасный; SWIR (*англ*. short wave infrared) — коротковолновый инфракрасный.

Целью исследований было создание метода разделения классов: льда, облаков и воды. Для выделения классов льда и облаков применён индекс NDSI (*англ*. Normalized Difference Snow Index — нормализованный разностный снежный индекс) (Hall et al., 2001). Для выделения открытой водной поверхности использовался индекс NDI_M42 (*англ*. Normalized Difference Index MODIS bands 4,2), аналогичный индексу MODIS NDWI (*англ*. Normalized Difference Water Index — нормализованный разностный водный индекс) (Gao, 1996). Индексы вычислялись по формулам:

NDSI= $\frac{\text{band}_1 - \text{band}_6}{\text{band}_1 + \text{band}_6}$, NDI_M42= $\frac{\text{band}_4 - \text{band}_2}{\text{band}_4 + \text{band}_2}$.

Данные индексы были выбраны нами из тех соображений, что NDSI давно и часто используется в различных исследованиях для выявления снега и льда на земной поверхности, аналогично используется для выделения открытой воды NDWI, индекс же NDI_M42, по нашим предположениям, должен был работать аналогично NDWI, и мы решили проверить его работоспособность.

Основное средство визуализации данных в статье — двумерная гистограмма. Это диаграмма, на которой координаты точки (области) соответствуют значениям (диапазонам значений) измеряемых параметров, а цвет точки (области) отображает количество измерений с такими значениями параметров относительно общего числа измерений. С помощью визуального или алгоритмического анализа таких гистограмм делаются выводы о наличии и относительном количестве измерений с данными параметрами среди данной выборки измерений.

В ранее представленных докладах и в настоящей статье приведены два вида двумерных гистограмм. В гистограммах одного вида координаты по вертикали соответствуют величине индекса NDI_M42, а координаты по горизонтали — величине коэффициента спектральной яркости (КСЯ) канала 4, в гистограммах второго вида используются величины индекса NDSI и КСЯ канала 6 соответственно.

Данные оси были выбраны исходя из предположения, что такое представление позволит более наглядно определять области кластеризации по сравнению с другими вариантами. Отметим, что сделанное предположение действительно позволило наглядно определять области кластеризации (*puc. 2*).

Первичная дискретизация гистограмм составляла 2000 интервалов на диапазон [-1...1] индекса и 2400 точек на диапазон [0...1,6] КСЯ канала. Цвет точек на обоих видах гистограмм меняется от синего до красного через жёлтый по мере относительного увеличения количества точек исходных данных с соответствующими параметрами.

В настоящей работе для совершенствования алгоритмов разделения классов было проведено разделение годового цикла на сезоны для исследуемой области (ранее указанные районы Охотского, Японского и Берингова морей), было взято: зима = декабрь – март, весна = апрель – июнь, лето = июль – октябрь, осень = ноябрь – декабрь.

Гистограммы строились по всем точкам всех сцен указанных сезонных периодов, попадающим в маску водной поверхности.

Для анализа были построены гистограммы NDI_M42 – канал 4 и NDSI – канал 6 за 2011– 2015 гг. по сезонам с наложением маски водной поверхности. Для построения гистограмм использовались данные подмножеств MOD09GA и MYD09GA, ежедневные снимки каналов № 1, 2, 4, 6 разрешения 500 м, приведённые к КСЯ по методике, рекомендованной MODIS, и обрезанные по величине угла падения до значения 45°.

Для иллюстрации приведены следующие гистограммы: *рис.* 3–6 (см. с. 31–32) — гистограммы NDSI – канал 6, соответствующие разным сезонам; *рис.* 7, 8 (см. с. 33) — ги-



зным сезонам; *puc.* 7, 8 (см. с. 33) — гистограммы NDI_M42 — канал 4 для лета и зимы. На гистограммах области параметров, относимых к конкретному состоянию земной поверхности, разделены чёрными линиями и обозначены сносками.

Рис. 2. Увеличенная по оси band6 (для наглядности изображения зон 1, 2, 3а, 3b) сетка областей параметров распознаваемых состояний на гистограмме NDSI-band6. Пунктиром обозначена верхняя граница зоны 3b в начальной версии распознавания. Расположение классов 4 и 5 вследствие смещения зоны видимости на этой схеме не отмечено, их расположение можно видеть на рис. 3-6



Puc. 3. Гистограмма NDSI – band6 за зиму 2015 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водного и облачного покрова



Puc. 4. Гистограмма NDSI – band6 за весну 2014 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водного и облачного покрова



Puc. 5. Гистограмма NDSI-band6 за лето 2015 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водного и облачного покрова



Рис. 6. Гистограмма NDSI – band6 за осень 2014 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водного и облачного покрова



Puc. 7. Гистограмма NDI_M42 – band4 за зиму 2015 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водяного и облачного покрова



Рис. 8. Гистограмма NDI_M42 – band4 за лето 2015 г. с сеткой параметров и указателями распознаваемых состояний водяного и облачного покрова

Показатели не покрытой льдом водной поверхности были взяты по гистограмме NDI_M42-канал 4 из общих физических соображений по аналогии с общей методикой интерпретации продукта MODIS NDWI (Gao, 1996). Результаты сезонного анализа и последующего распознавания состояний не показали существенных противоречий такому предположению.

В результате сравнительного анализа гистограмм за различные сезоны были выявлены области значений параметров, проявляющиеся только зимой и весной, которые и были объявлены льдом/снегом, — таковы области 3а и 3b на диаграммах NDSI, а также области значений параметров, соответствующие водной поверхности без льда (области 1 и 2 на диаграмме NDSI) и двум условным (поскольку зона облачности на диаграмме NDSI получилась сложной формы, посчитали целесообразным разбить её на две подзоны для упрощения восприятия) типам облачности (области 4 и 5 на диаграммах NDSI) (см. *рис.* 3-6). Так, например, на рис. 3 (NDSI, зима) видно преобладание состояний с параметрами из областей За и 3b и малое количество состояний с параметрами из области 1. На *рис.* 4 (NDSI, весна), по сравнению с предыдущим рисунком, видно уменьшение присутствия состояний с параметрами из областей За и Зb, незначительное наличие состояний с параметрами из области 2 и увеличившееся количество состояний с параметрами из области 1. На puc. 5 (NDSI, лето) наблюдается отсутствие состояний с параметрами из областей 2, 3а, 3b и возрастание числа состояний с параметрами из области 1. Преобладает облачность с параметрами из области 4. На рис. 6 (NDSI, осень) видно, что области значений параметров 3а, 3b пусты, появились состояния с параметрами из области 2. Преобладает облачность с параметрами из области 5. На рис. 7 (NDI M42, зима) видно наличие состояний с параметрами из области 3b, в то время как на рис. 8 (NDI M42, лето) мы можем видеть отсутствие состояний с параметрами из области 3b.

Вышеописанный сравнительный анализ проводился визуально итерациями. По выраженным связным областям высокой концентрации отсчётов на двумерной гистограмме делалось предположительное отнесение области к классу льда, открытой воды или облаков. В соответствии со сделанным предположением выполненная классификация отображалась

Земля
Нет данных за эти сутки
Открытая вода
Сало, шуга и другие про
Вода под облаками
Тонкий лёд
Толстый лёд
Облачность типа 1
Облачность типа 2

Облачность типа 2 *Рис. 9.* Легенда классифицированных изображений

и другие промежуточные формы

варительная и делалась вручную. Оценка ошибок планируется на следующем этапе работ вместе с алгоритмическим уточнением выделения кластеров.

Внутренние оценки качества данных, содержащиеся в анализируемых продуктах MODIS, не использовались.

на карте, оценивалась связность полученных областей и разумность выполненной классификации. По результатам визуального кон-

троля вносились коррективы в выделенные

ния параметров границ кластеров не прово-

дилась, так как данная классификация пред-

Вероятностная оценка ошибок определе-

области на двумерной гистограмме.



Рис. 10. Начальная версия классификации (слева), визуализация (в середине), скорректированная версия классификации данных для гранулы MODIS H26V03 за 035-й день (4 февраля) 2016 г. (справа)

Таким методом была получена начальная версия классификации состояний водной поверхности и атмосферы. Затем по результатам сравнения классифицированных снимков с визуализацией тех же сцен [band2, band6, band1 MODIS] \rightarrow RGB (*puc. 9, 10* (см. с. 34)) был сделан вывод, что под слоем тонкой облачности (распознаваемой начальной версией алгоритма как облачность) вполне надёжно можно во многих случаях различить водную или снежную/ледовую поверхность. Соответственно, в алгоритм были внесены изменения.

Пример сопоставления классификации и визуализации [band2, band6, band1 MODIS] \rightarrow RGB можно видеть на *рис. 10* с учетом описания легенды классификации изображений, которое приведено на *рис. 9*.

При анализе результатов начальной версии классификации и сопоставлении с визуализацией стало очевидно следующее:

- 1) статистически на классифицированных снимках слишком много облачности;
- при рассмотрении визуализации становится понятно, что во многих случаях под тонким слоем облаков вполне надёжно можно распознать покров поверхности (лёд или чистая вода).

С учётом этого классификация была усовершенствована. Были сделаны следующие изменения:

- 1) выявление воды была добавлена область параметров 2b на диаграмме NDI_M42, распознаваемая как вода под тонкой облачностью;
- 2) выявление льда была расширена область параметров 3b на диаграмме NDSI с добавлением поправки на область параметров 3b на диаграмме NDI_M42 для предотвращения ложных срабатываний на облачность, так как для сочетаний параметров из области, выделенной зелёным цветом на диаграмме NDSI, имеет место неоднозначность распознавания (лёд или облачность), если учитывать только параметры диаграммы NDSI. В скорректированной версии классификации состояния с параметрами из этой спорной области на гистограмме NDSI объявляются льдом только в том случае, если на диаграмме NDI_M42 их параметры попадают в область 3b.

В *табл.* 2 приведено сравнительное описание зон (сочетаний параметров точек), указанных на гистограммах, для наглядности сопоставления двух версий алгоритма распознавания.

№ зоны	Начальная версия алгоритма распознавания	Улучшенная версия алгоритма распознавания
1	Чистая вода (точка исходной сцены распознавалась как вода при её попа- дании либо в зону 1 гистограммы NDI_ M42, либо в зону 1 гистограммы NDSI)	Без изменений
2	Начальные стадии образования льда (сало, шуга и т.п.). NDSI	
2a	Не выделялось, распознавалось как облачность	Вода под облаками. NDI_M42
3a	Тонкий лёд. NDSI	Без изменений
3b	Толстый лёд. NDSI	На диаграмме NDSI зона была существенно рас- ширена, при этом с учётом перекрытия параметров состояний толстого льда и облаков на диаграмме NDSI (область перекрытия выделена на гистограм- мах NDSI зелёным цветом) было добавлено усло- вие попадания состояния в соответствующую зону диаграммы NDI_M42
4	Облачность типа 1	Без изменений
5	Облачность типа 2	

Таблица 2. Описание зон (сочетаний параметров точек), указанных на гистограммах, с учётом двух версий алгоритма распознавания

На *рис. 2* приведена сетка областей параметров распознаваемых состояний на гистограмме NDSI – band6, увеличенная для наглядности по оси band6.

На *рис. 10* при сравнении версий классификации в выделенных областях заметно улучшение распознавания как льда, так и водной поверхности под тонкой облачностью в скорректированной версии классификации.

Результаты

Классификация была сопоставлена не только с визуализацией [band2, band6, band1 MODIS] \rightarrow RGB, но и с визуализацией льда по формуле MODIS (алгоритм ATBD-MOD-10 без использования данных о температуре). Ниже представлено несколько иллюстраций.

Эллипсами на карте на *puc. 11* выделены фрагменты, которые из-за облачности затруднительно отнести к покрытой льдом поверхности. Но автоматическая классификация на *puc. 12* уверено указывает на наличие льда. Это подтверждает визуализация в отсутствии облачности на следующий день, приведённая на *puc. 13* (см. с. 37).



Рис. 11. Визуализация ледовой обстановки MODIS в районе Камчатки 12.03.2017 в условиях существенной облачности



Рис. 12. Классификация, выполненная для области на рис. 11 за тот же день, 12.03.2017



На *рис. 14, 15* видно совпадение результатов автоматической классификации с визуально воспринимаемыми текстурами изображения в отсутствии облачности на севере Сахалина.

Рис. 13. Визуализация MODIS той же области, что и на *рис. 11*, за предыдущий день, 11.03.2017, облачности практически нет



Рис. 14. Классификация ледовой обстановки на севере Сахалина за 12.03.2017



Рис. 15. Визуализация MODIS области на рис. 14 за тот же день, 12.03.2017

Заключение

Таким образом, в статье показано, что разработанный метод автоматической классификации на основе сопоставления двух индексов: широко известного и используемого индекса NDSI и введённого индекса NDI_M42, аналогичного индексу MODIS NDWI, с учётом сезонного анализа позволяет получать важные данные по ледовой обстановке.

Полученная в результате методика нуждается в дальнейших испытаниях и усовершенствовании. В первую очередь должна быть проведена работа по возможности построения композиционных данных по ледовой обстановке на основе спутниковой информации за несколько дней. На следующем этапе необходимо по вышеупомянутым композиционным данным представлять ледовую обстановку в векторном виде.

Полученные в векторном виде данные по классификации льда должны быть сопоставлены с автоматически получаемой обстановкой на основе спутниковых микроволновых пассивных наблюдений. Следует отметить, что пространственное разрешение вышеупомянутых микроволновых наблюдений ориентировочно в двадцать раз меньше разрешения приборов MODIS.

Испытания разработанной методики необходимо расширить для других морских регионов, в первую очередь для Каспийского и Азовского морей, а также для морей Северного морского пути.

Также представляется необходимым проработать методологию автоматизированного подхода к получению оценок качества классификации и относительного улучшения в результатах между разными версиями алгоритма классификации.

Кроме того, можно провести работы по оценке применимости используемого индекса NDI_M42 для решения других задач.

Работы проводились с использованием технологий и данных центра коллективного пользования ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (Лупян и др., 2015а, б). Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема «Мониторинг», госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

Литература

- Андреев М. В., Егоров В. А., Уваров И. А., Дегай А. Ю., Пырков В. Н., Черных В. Н. Разработка новых методов обработки и представления спутниковых данных в картографическом интерфейсе Отраслевой системы мониторинга Росрыболовства // 13-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. Москва, 16–20 нояб. 2015. М.: ИКИ РАН, 2015. С. 235. URL: http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow. aspx?page=109&thesis=5369.
- 2. Дегай А.Ю., Андреев М.В., Егоров В.А., Пырков В.Н., Черных В.Н. Исследование возможности повышения эффективности методов обработки спутниковых данных для представления ледовой обстановки в районах рыболовного морского промысла // 14-я Всероссийская открытая конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тез. 16–20 нояб. 2016. М.: ИКИ РАН, 2016. С. 235. URL: http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow. aspx?page=133&thesis=5918.
- 3. Лупян Е.А., Балашов И.В., Бурцев М.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Кобец Д.А., Крашенинникова Ю.С., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А., Флитман Е.В. (2015а) Создание технологий построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 53–75.
- 4. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. (2015б) Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.

- 5. *Солодилов А. В.*, *Пырков В. Н.* Комплексный спутниковый мониторинг судов рыбопромыслового флота // Аэрокосмический курьер. 2011. № 2(74). С. 68–70.
- 6. Breiman L. Random Forest // Machine Learning. 2001. V. 45. No. 1. P. 5–32.
- 7. *Gao B. C.* NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space // Remote Sensing of Environment. 1996. V. 58. No. 3. P. 257–266.
- 8. *Hall D. K., Riggs G. A., Salomonson V. V.* Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms. 2001. URL: https://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/?c=atbd.

Development of methods of automatic recognition of sea ice cover based on visible and near-infrared satellite data for fishery monitoring system

A. Yu. Degay, M. V. Andreev, V. A. Egorov, V. N. Pyrkov, V. N. Chernykh

Space Research Institute RAS, Moscow 117997, Russia E-mail: pyrkov@d902.iki.rssi.ru

This research considers a fundamentally new technology of automatic determination of ice border and classification of ice cover based on satellite images in the visible and near-infrared ranges for its subsequent presentation in Fishery Monitoring System (FMS) mapping services. The paper describes the stages of methodology development for determining automatic classification based on the analysis of two-dimensional histograms. The presented histograms were based on normalized indices. Particular attention is paid to comparative seasonal analysis of histograms. Preliminary results of automatic classification are presented as part of the Service for the provision of classification of ice cover which is based on satellite data integrated in the FMS mapping interface. The paper proposes the ways of further development of automatic classification of ice cover and FMS services related to the presentation of ice conditions.

Keywords: classification of ice cover, remote sensing, satellite image processing (decoding, recognition)

Accepted: 15.07.2021 DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-4-27-40

References

- Andreev M. V., Egorov V.A., Uvarov I.A., Degai A. Yu., Pyrkov V.N., Chernykh V.N., Development of new methods for processing and presenting satellite data in the cartographic interface of the Fishery Monitoring System (FMS), *13-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (13th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of abstr., Moscow, 16–20 Nov. 2015, Moscow: IKI RAN, 2015, p. 235 (in Russian).
- Degai A. Yu., Andreev M. V., Egorov V. A., Pyrkov V. N., Chernykh V. N., Prospects of the possibility of increasing the efficiency of satellite data processing methods for representing the ice situation in marine fishing areas, *14-ya Vserossiiskaya otkrytaya konferentsiya "Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa"* (14th All-Russia Open Conf. "Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space"), Book of abstr., Moscow, 16–20 Nov. 2016, Moscow: IKI RAN, 2016, p. 235 (in Russian).
- Loupian E. A., Balashov I. V., Burtsev M. A., Efremov V. Yu., Kashnitskiy A. V., Kobets D. A., Krasheninnikova Yu. S., Mazurov A. A., Nazirov R. R., Proshin A. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A., Flitman E. V. (2015a), Development of information systems design technologies, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 53–75 (in Russian).
- Loupian E. A., Proshin A. A., Burtsev M. A., Balashov I. V., Bartalev S. A., Efremov V. Yu., Kashnitskii A. V., Mazurov A. A., Matveev A. M., Sudneva O. A., Sychugov I. G., Tolpin V. A., Uvarov I. A. (2015b), IKI center for collective use of satellite data archiving, processing and analysis systems aimed at solving

the problems of environmental study and monitoring, *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 5, pp. 263–284 (in Russian).

- 5. Solodilov A. V., Pyrkov V. N., Integrated satellite monitoring of fishing fleet vessels, *Aerokosmicheskii kur'er*, 2011, No. 2(74), pp. 68–70 (in Russian).
- 6. Breiman L., Random Forest, *Machine Learning*, 2001, Vol. 45, No. 1, pp. 5–32.
- 7. Gao B. C., NDWI A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space, *Remote Sensing of Environment*, 1996, Vol. 58, No. 3, pp. 257–266.
- 8. Hall D.K., Riggs G.A., Salomonson V.V., *Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow and Sea Ice-Mapping Algorithms*, 2001, available at: https://modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov/?c=atbd.