

*Рассмотрение возможности определения  
ледового покрытия на основе композитных  
спутниковых данных оптического и  
ближнего инфракрасного диапазона для  
системы мониторинга рыболовства*

*Дегай А.Ю., Пырков В.Н., Черных В.Н.*

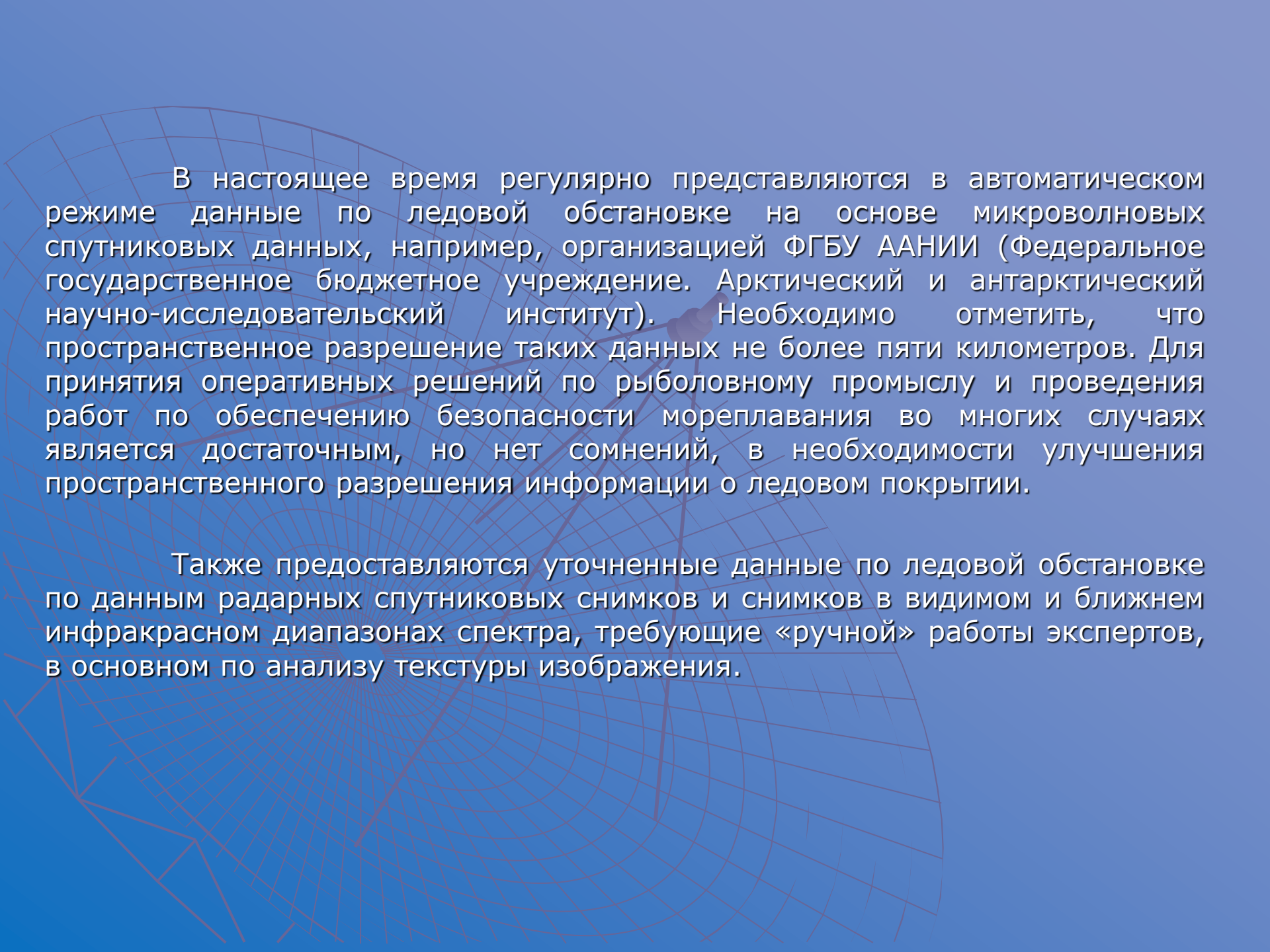
*ИКИ РАН, Институт космических исследований,  
Москва, e-mail: [vpyrkov@mail.ru](mailto:vpyrkov@mail.ru)*

Система мониторинга рыболовства (отраслевая система мониторинга, ОСМ) эффективно используется для контроля промысла водных биологических ресурсов, планирования промысловых работ, а также для повышения безопасности вождения судов (Солодилов, Пырков, 2011), (Лупян и др., 2011). ОСМ была разработана в 2000 году и находится в эксплуатации более пятнадцати лет. Для того, чтобы эффективность ОСМ не снижалась в условиях новых требований, проводятся работы по ее 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 наиболее актуальным является решение данной задачи для Охотского моря. Это связано с тем, что Охотское море является самым продуктивным морем России. При этом оно обладает обширной площадью ледового покрытия в период минтаевой путины, когда производится вылов основного объема водных биологических ресурсов, что требует актуальной информации о состоянии ледового покрова.





В настоящее время регулярно представляются в автоматическом режиме данные по ледовой обстановке на основе микроволновых спутниковых данных, например, организацией ФГБУ АНИИ (Федеральное государственное бюджетное учреждение. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт). Необходимо отметить, что пространственное разрешение таких данных не более пяти километров. Для принятия оперативных решений по рыболовному промыслу и проведения работ по обеспечению безопасности мореплавания во многих случаях является достаточным, но нет сомнений, в необходимости улучшения пространственного разрешения информации о ледовом покрытии.

Также предоставляются уточненные данные по ледовой обстановке по данным радарных спутниковых снимков и снимков в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, требующие «ручной» работы экспертов, в основном по анализу текстуры изображения.



МОДИС также предоставляет данные по льдам и снегу. Но использование данного продукта крайне неудобно, так как облачность и лед представлены одним цветом. Оператор на основе контекста и текстуры, а также по сравнению с данными предыдущих суток должен разделить лед и облачность.

Использование данных прибора Terra-MODIS является важным 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 является период полярной ночи в приполярных областях, когда отсутствует любое отраженное 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, Leo (2001).

Позднее в работе (Дегай и др., 2021) 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.

Важным шагом в совершенствовании методики является проведение в работе (Дегай и др., 2021) сезонного анализа гистограмм нормализованных индексов.

Настоящая работа является продолжением работ (Андреев и др., 2015) , (Дегай и др., 2016) и (Дегай и др., 2021), в направлении совершенствования автоматической классификации ледового покрытия по снимкам спектрорадиометра MODIS.

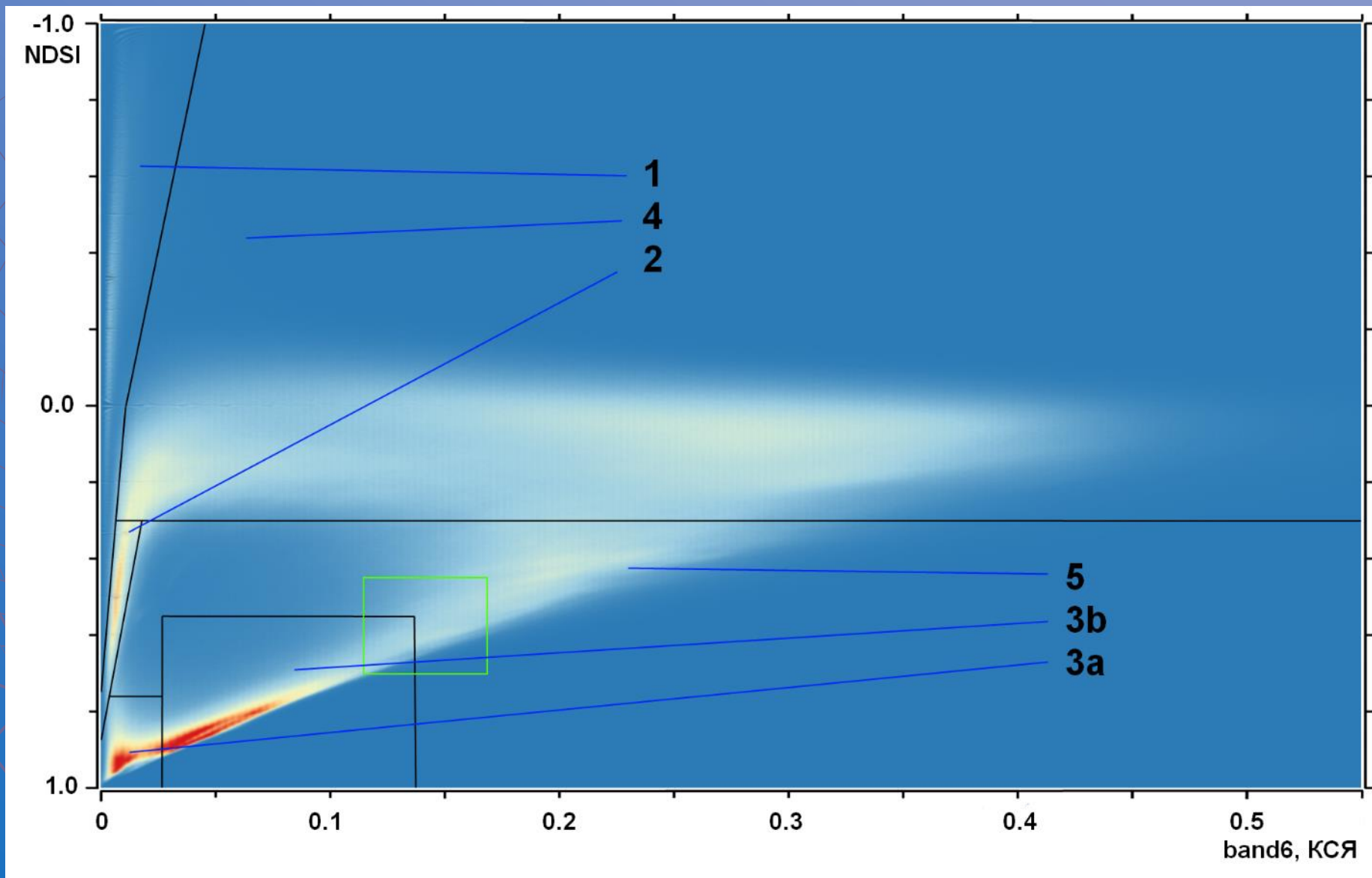
Основной целью работ, представленных в вышеуказанных докладах и работе, а также данного доклада является разработка эффективного алгоритма автоматизированной классификации ледового покрытия.

На нижеследующем слайде представлен пример зимней двумерной гистограммы нормализованного индекса NDSI

$$NDSI = \frac{band_1 - band_6}{band_1 + band_6}$$

и интенсивности по каналу MODIS band6

Пример зимней двумерной гистограммы нормализованного индекса NDSI



( Цифрами обозначены зоны распознавания, приведенные в следующей таблице )



Описание зон (сочетаний параметров точек), указанных на гистограммах, с учетом двух версий алгоритма распознавания

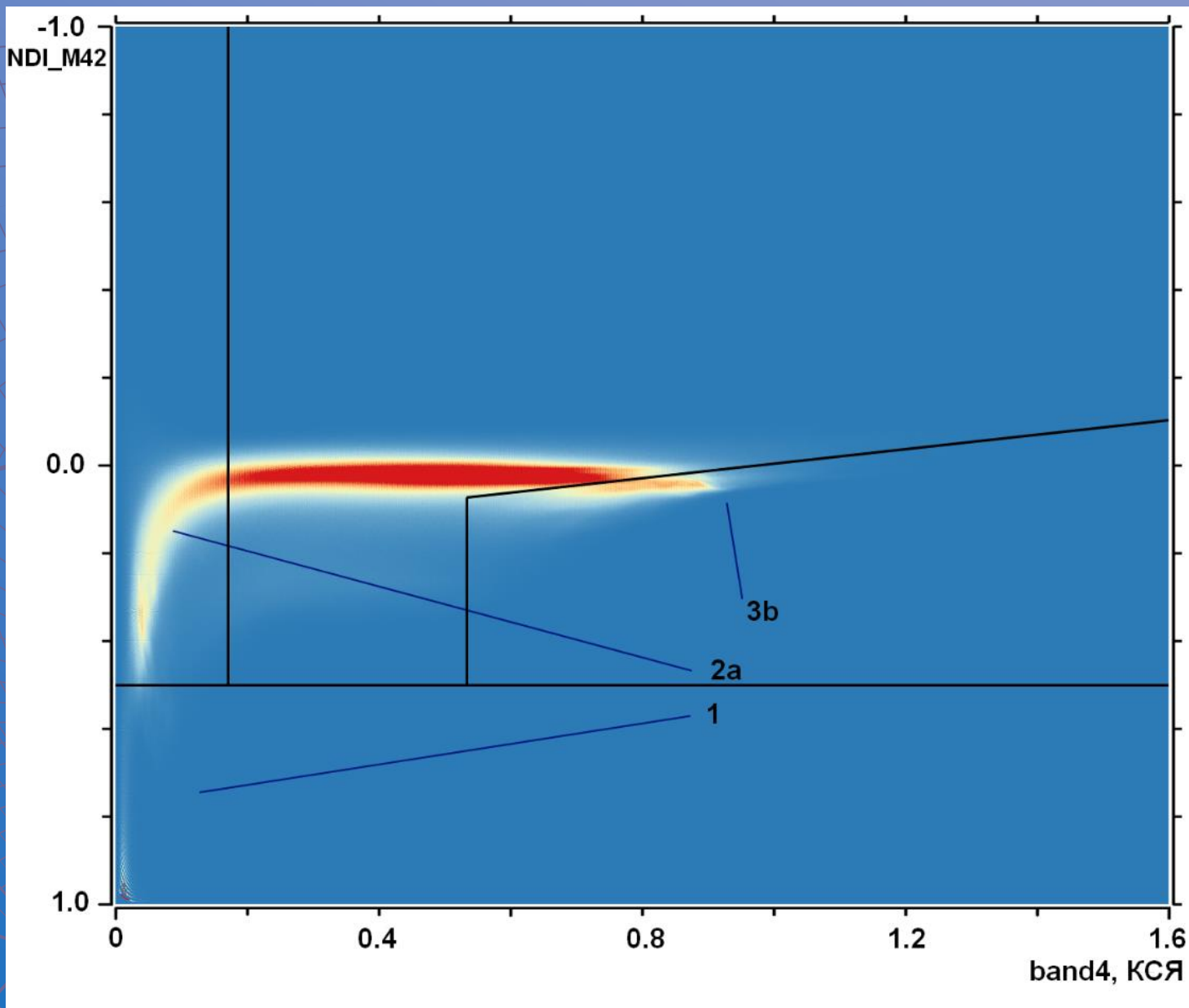
<i>№ зоны</i>	<i>Наименование зоны распознавания</i>
<b>1</b>	Чистая вода
<b>2</b>	Начальные стадии образования льда (сало, шуга и т.п.)
<b>2a</b>	Вода под облаками.
<b>3a</b>	Тонкий лед
<b>3b</b>	Толстый лед
<b>4</b>	Облачность «типа 1»
<b>5</b>	Облачность «типа 2»

На нижеследующем слайде представлены пример зимней двумерной гистограммы нормализованного индекса NDI\_M42 - band4

$$NDI_{M42} = \frac{band_4 - band_2}{band_4 + band_2}$$




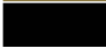







Пример зимней двумерной гистограммы нормализованного индекса NDI\_M42 - band4



В работе (Дегай и др., 2021) представлено много примеров, существенного улучшения результатов автоматической классификации с помощью полученных корректировок критериев отнесения к различным классам.

Разработанный сервис предоставления классификации ледового покрытия на основе спутниковых данных интегрирован в картографический интерфейс ОСМ.

Ниже в таблице представлены цвета отображения различных классов в картографическом интерфейсе ОСМ.

	<b>земля</b>
	<b>нет данных за эти сутки</b>
	<b>открытая вода</b>
	<b>сало, шуга и др. промежуточные формы</b>
	<b>вода под облаками</b>
	<b>тонкий лед</b>
	<b>толстый лед</b>
	<b>облачность "типа 1"</b>
	<b>облачность "типа 2"</b>

Несмотря на существенные улучшения в автоматической классификации, зона в которой по спутниковым снимкам за день определено отнесение морской поверхности к свободной ото льда или к покрытой льдом далеко не полная.

Основной целью данного доклада являлась оценка возможности с помощью композиций обработанных снимков за несколько дней существенно улучшить полноту классификации.

Были обработаны снимки MODIS за пять зимних и весенних месяцев с помощью алгоритма, разработанного в работе (Дегай и др., 2021).

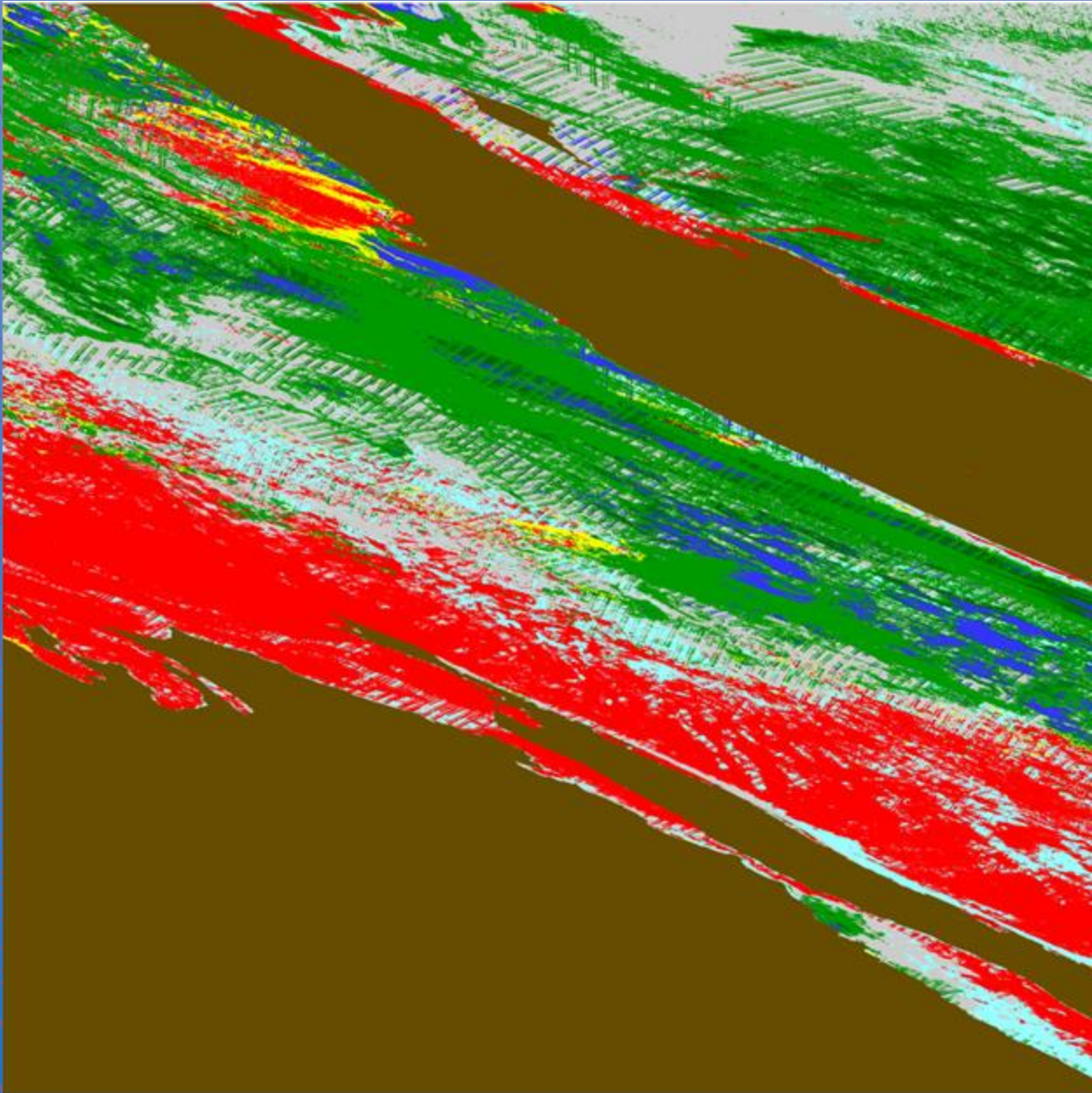
Затем по полученным результатам составлены композиционные распределения, на основе четырех дней. Каждый пиксель композита был получен самым последним «безоблачным» результатом в случае наличия хотя бы одного результата без облаков. В случае отсутствия хотя бы одного «безоблачного» результата пикселю присваивался класс как на последнем спутниковом снимке.



К сожалению полной классификации морской поверхности получить не удалось.

Можно однако отметить два оптимистичных момента:

1. Было проверено, что случаев быстрого перехода из состояния «вода под облаками» в состояние «лед» ничтожно мало. Это говорит, о том что критерии отнесения к данному классу вполне надежны.
2. Состояний «вода подо льдом» значительное количество. Во многих случаях не меньше, чем состояний отнесенных к классам облачности. Пример приведен на следующем слайде.





# Заключение

В докладе показано, что в разработанном в (Дегай и др., 2021) методе автоматической классификации используются корректные критерии отнесения зон морской поверхности к классу «вода подо льдом». Что в свою очередь позволяет значительно увеличить зону морской поверхности на которой было проведено отнесение к классам покрытых льдом или свободных ото льда.

Этот факт говорит в пользу составления композиционных карт при совместном использовании с другими источниками ледовой информации например с картами на основе субмиллиметрового диапазона для улучшения их пространственного разрешения.



## Финансирование работы

Работы проводились с использованием технологий и данных центра коллективного пользования ЦКП "ИКИ-Мониторинг" (Лупян и др., 2015).

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (тема "Мониторинг", госрегистрация № 01.20.0.2.00164).

# Литература

1. 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 // Тринадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 16-20 ноября 2015. Тезисы докладов, 2015. С. 235.
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 // Четырнадцатая всероссийская открытая конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва. ИКИ РАН, 16-20 ноября 2016. Тезисы докладов, 2016. С. 235.
3. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Назиров Р.Р., Прошин А.А., Флитман Е.В., Крашенинникова Ю.С. Технологии построения информационных систем дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 1. С. 26-43.



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. 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., Пырклов В.Н. Комплексный спутниковый мониторинг судов рыбопромыслового флота // Аэрокосмический курьер. 2011. № 2 (74). С. 68–70.

6. Дегай А.Ю., Андреев М.В., Егоров В.А., Пырклов В.Н., Черных В.Н. Развитие методов автоматического распознавания ледового покрытия на основе спутниковых данных оптического и ближнего инфракрасного диапазона для системы мониторинга рыболовства // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18.

7. Breiman L. Random Forest // Machine Learning. 2001. V. 45. №1. P. 5–32





**Спасибо за внимание!**