Александр В. Бочаров (1, 2, 3), Андрей Г. Костяной (1, 2, 4), Сергей А. Лебедев (2, 3, 5)

(1) Российский университет транспорта

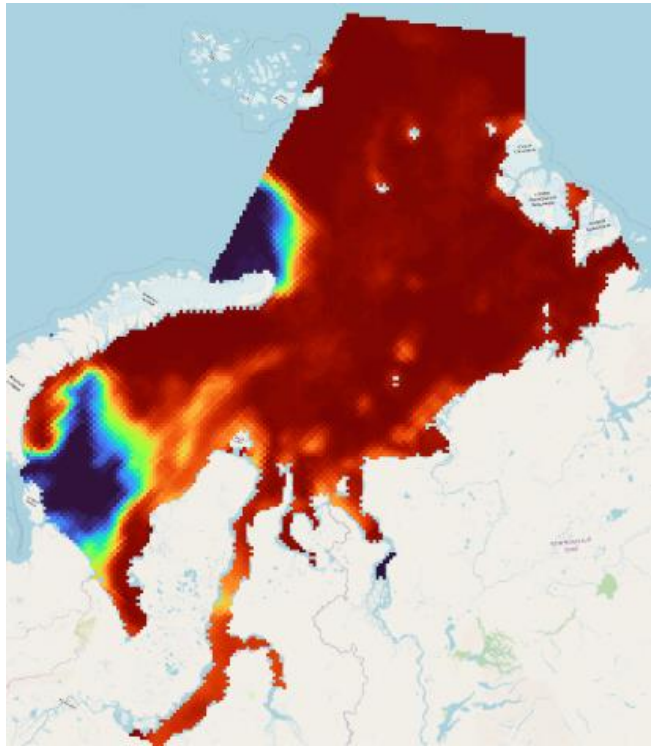
(2) Геофизический центр РАН

(3) Майкопский государственный технологический университет

(4) Институт океанологии РАН

(5) Московский институт электронной техники

Динамика ледяного покрова Карского моря в сезоне 2024–2025 гг. по данным AMSR-2



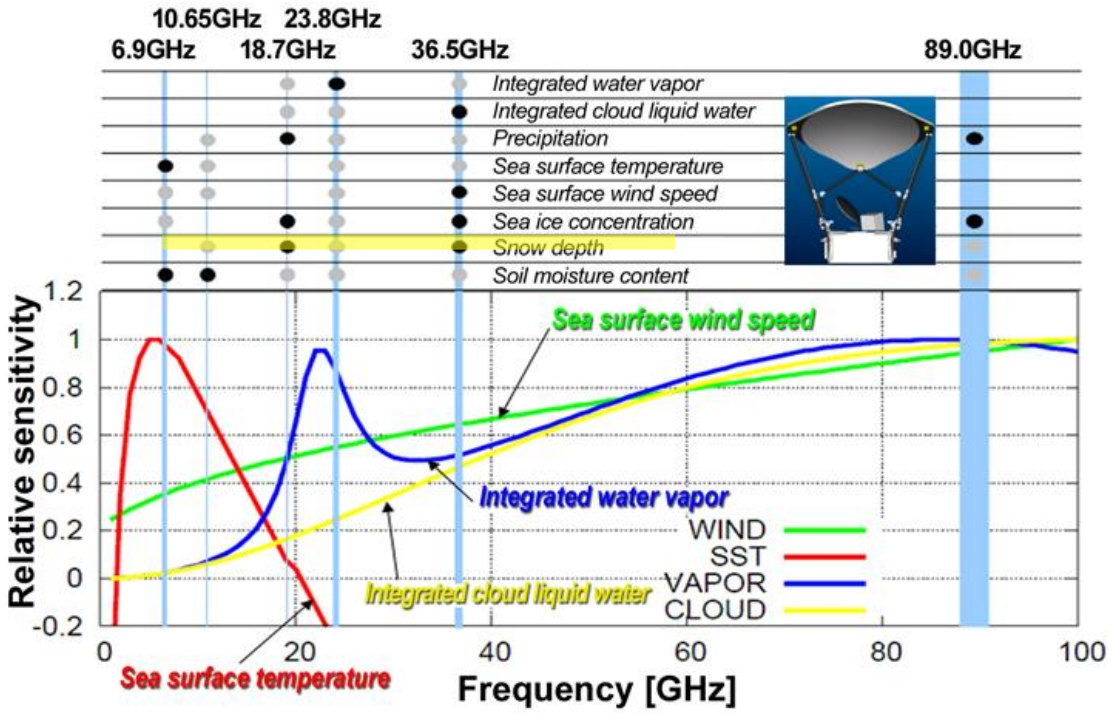
Обзор инструмента AMSR2

AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer 2) — это усовершенствованный микроволновый сканирующий радиометр, установленный на японском спутнике GCOM-W1 "Shizuku" . Это прибор пассивного типа, который измеряет слабое микроволновое излучение, исходящее от поверхности Земли и атмосферы. Инструмент был запущен 18 мая 2012 года и является прямым преемником приборов AMSR.

AMSR2 измеряет излучение на 7 частотах в диапазоне от 6.9 до 89.0 ГГц в вертикальной (V) и горизонтальной (H) поляризации

AMSR2 Channel Set

Center Freq.	Band width	Pol.	Beam width	Ground res.	Sampling interval
GHz	MHz		degree	km	km
6.925/7.3	350	V/H	1.8	35 x 62	10
10.65	100		1.2	24 x 42	
18.7	200		0.65	14 x 22	
23.8	400		0.75	15 x 26	
36.5	1000		0.35	7 x 12	
89.0	3000		0.15	3 x 5	5



©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

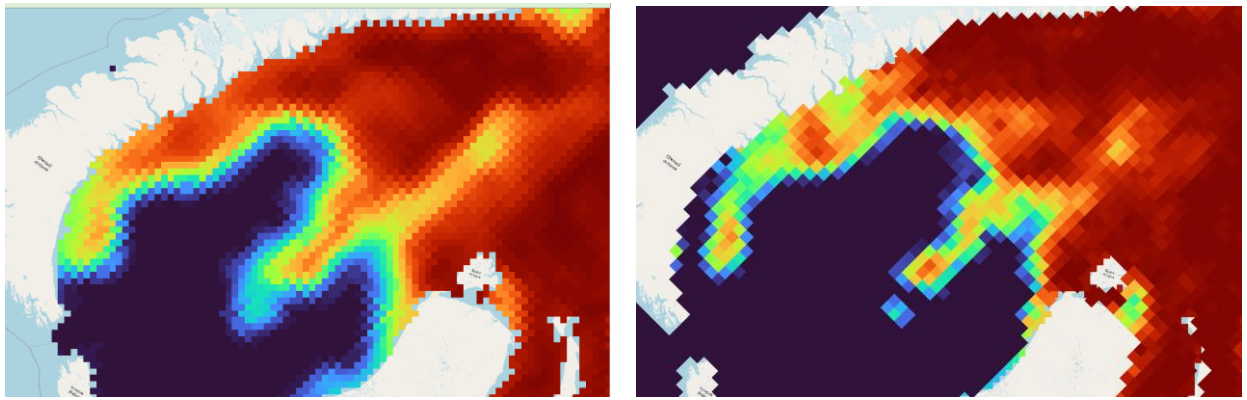
Продукты Sea Ice Concentrationпо данным AMSR2

AMSR2 — это радиометр который принадлежит JAXA (Японское агентство аэрокосмических исследований) и он установлена на японском спутнике GCOM-W. Поскольку JAXA открыто публикует "сырые данные" (яркостные температуры) со своего прибора, любая организация в мире может их скачать и применить свой собственный алгоритм. Поэтому существует несколько продуктов концентрации льда (Sea Ice Concentration) по AMSR2.

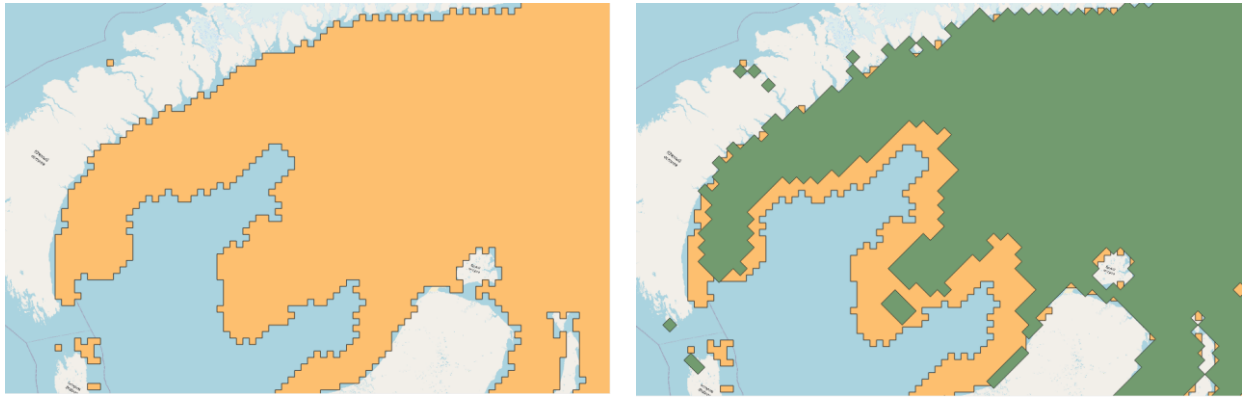
Научные центры предоставляющие продукты Sea Ice Concentration по данным AMSR2:

- **- JAXA** (Японское агентство аэрокосмических исследований);
- **- NSIDC** (Национальный центр данных по снегу и льду, США);
- **University of Bremen** (Бременский университет, Германия);
- **EUMETSAT OSI SAF** (Европейская организация по эксплуатации метеоспутников).

Различия в значениях концентрации льда между продуктами обусловлены в первую очередь использованием разных алгоритмов расчета.



Пример размерности пикселей в продуктах Sea Ice Concentration на основе данных AMSR2: (а) JAXA; (б) NSIDC

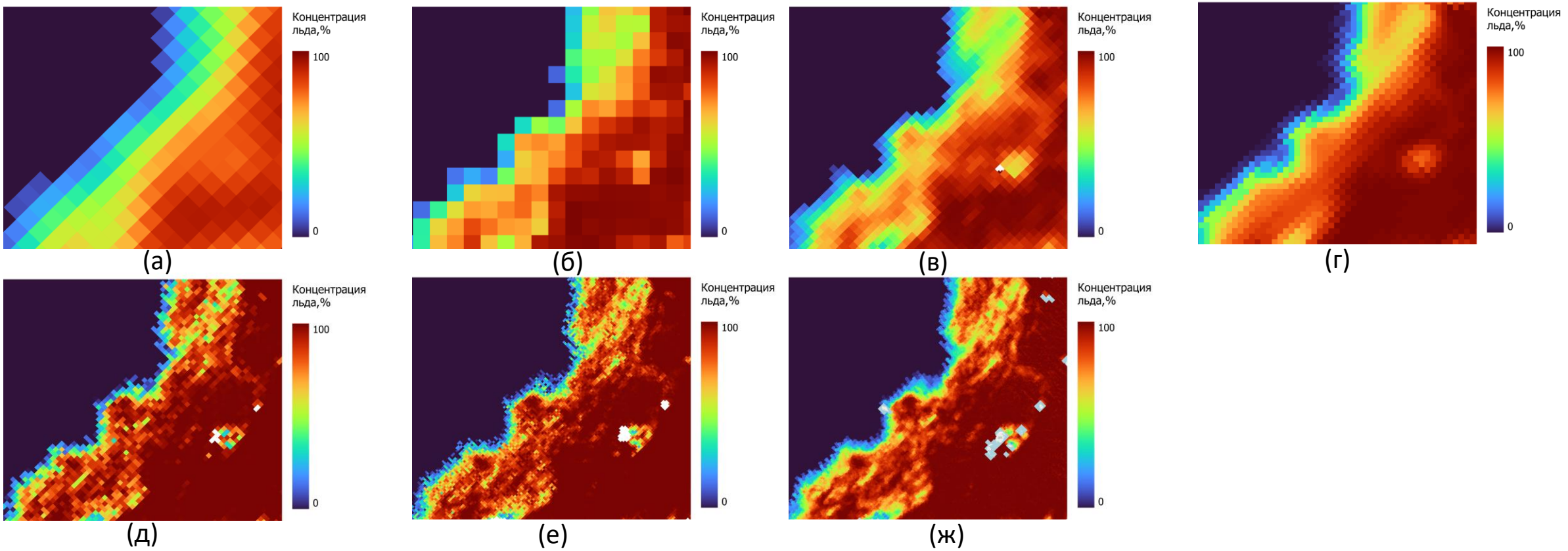


Пример получаемой границы льда (с концентрацией от 1 до 100%) по продуктам Sea Ice Concentration на основе данных AMSR2: (а) JAXA; (б) NSIDC

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Сравнение продуктов Sea Ice Concentration получаемых по данным AMSR2 различными научными центрами

На основе сырых данных AMSR2, находящихся в открытом доступе, несколько вышеуказанных научных центров на основании своих алгоритмов предоставляют собственные продукты «Sea Ice Concentration». Эти продукты отличаются используемыми алгоритмами, координатными сетками и пространственным разрешением. Ниже приводится обзор наиболее известных базовых продуктов с концентрацией льда, уровня обработки Level 3.



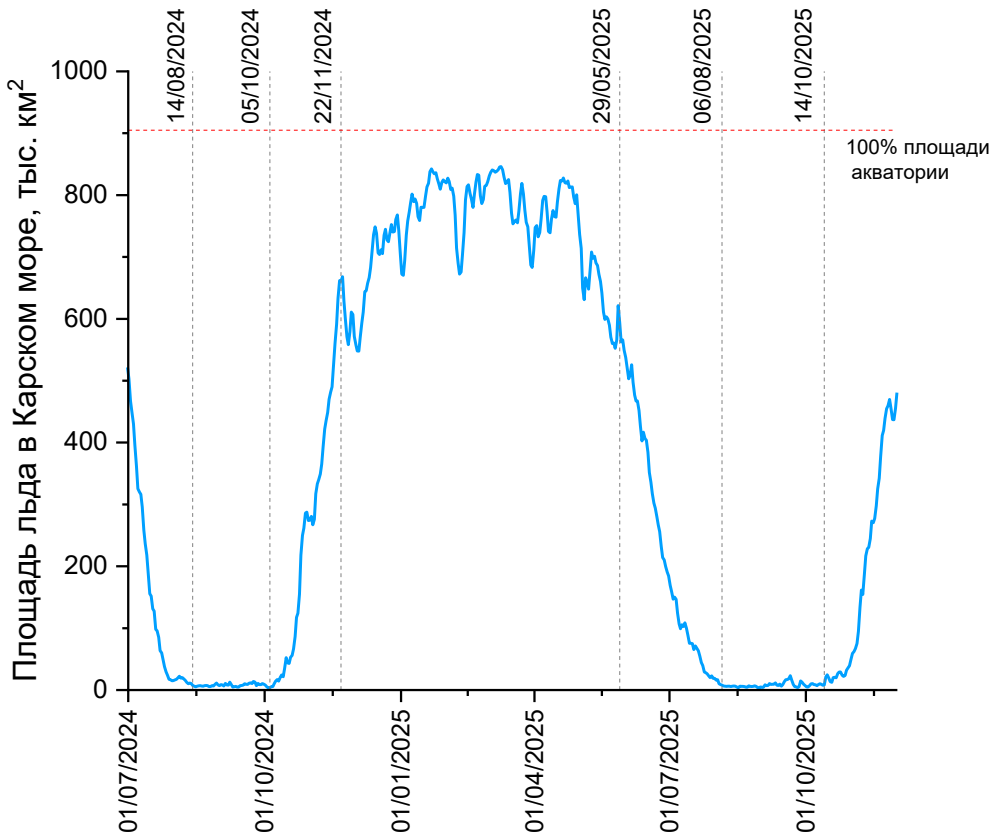
Примеры качества продуктов о концентрации льда «Sea Ice Concentration» на основе данных AMSR2: (а) NSIDC-0803 (пространственное разрешение 25 км); (б) Eumetsat OSI-438 (25 км); (в) Eumetsat OSI-408-a (10 км); (г) JAXA в рамках программы JASMES (10 км); (д) ASI University of Bremen (6,25 км); (е) ASI University of Bremen (3,125 км); (ж) MODIS-AMSR2 (1 км)

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Динамика изменения площади льдов в Карском море

Наборы спутниковых данных, полученные по разным алгоритмам, дают немного разную общую площадь льда. Из базовых продуктов с концентрацией льда по данным AMSR2 лучшим разрешением обладает ASI University of Bremen (3,125 км). На основе этих данных выполнялись все последующие расчёты и оценивались количественные характеристики ледяного покрова.
Площадь льда для каждого пикселя определялась как произведение его геометрической площади (полученной из растра размера площадей пикселей, соответствующего используемой сетке) на значение концентрации льда в данном пикселе.

В период ледостава в 2024-2025 гг. наиболее интенсивное замерзание Карского моря происходило с 05.10.2024 по 22.11.2024. За этот период произошло увеличение покрытия льдом (с 4,09 до 661,16 тыс. км^2) или с 0,45 до 73,09% поверхности моря. К последней декаде января произошло плавное увеличение площади льда до 93,11% акватории. Промежуток с 22.11.2024 по 29.05.2025 можно охарактеризовать как период устоявшегося ледостава. Максимальная площадь ледяного покрова Карского моря за исследуемый период зафиксирована 10 марта 2025 года и составила 846 101,94 км², что соответствует 93,53 % общей площади акватории моря.
Тренд на снижения площади льда начался с последней декады апреля. С 21.04.2025 по 29.05.2025 наблюдалось уменьшение площади льда с несколькими откатами на увеличение. Начиная с 29.05.2025 по 06.08.2025 происходило планомерное таяние льда. Минимальная площадь льда в акватории Карского моря в период летнего таяния составила 3,43 тыс. км² в 2024 году и 3,45 тыс. км² в 2025 году, что соответствует 0,38 % от общей площади акватории моря.

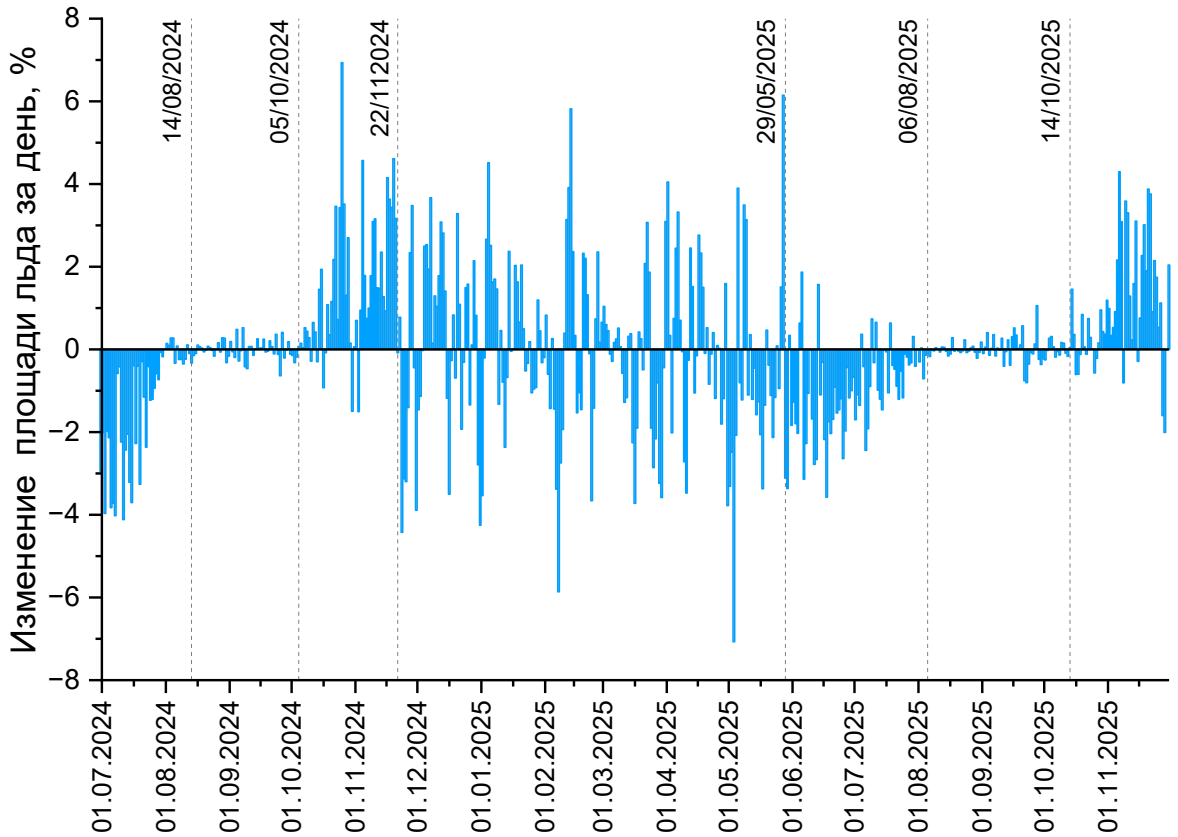


Динамика изменения площади льдов в Карском море в период ледостава 2024-2025 гг. по данных AMSR2

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Суточный прирост площади льда

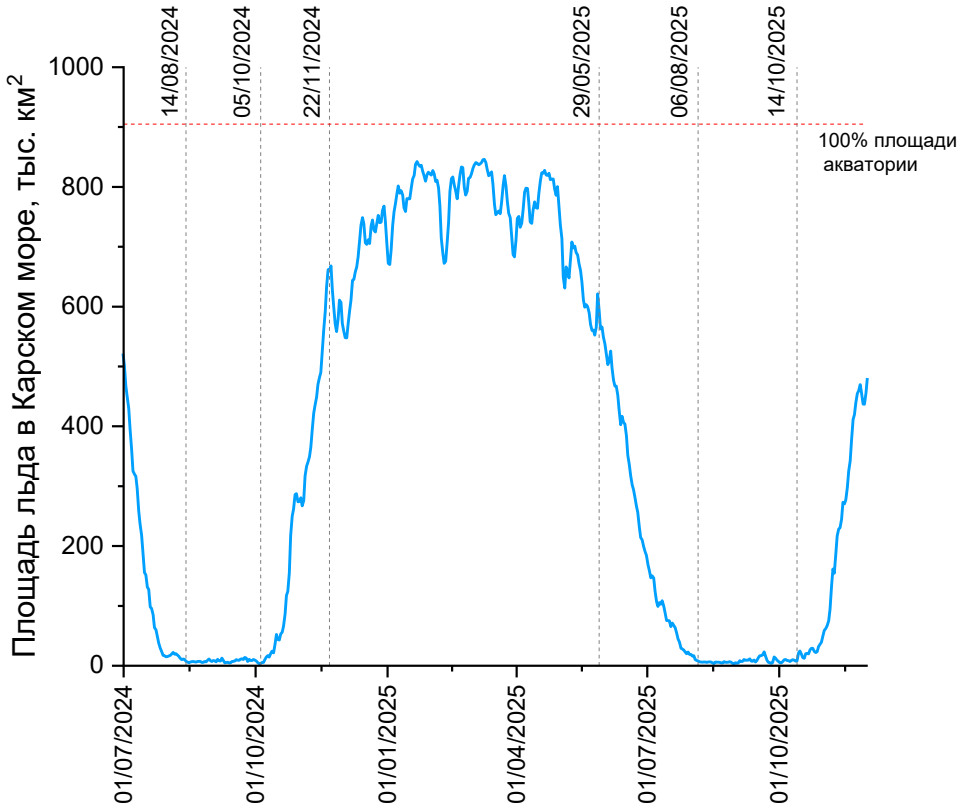
Результаты нашего исследования показали, что в период ледостава в Карском море могут происходить значительные суточные изменения площади льда. За исследуемый период зафиксировано максимальное увеличение площади льда на 6,9 % (62,8 тыс. км²) и максимальное сокращение на 7,1 % (64 тыс. км²) в течение суток



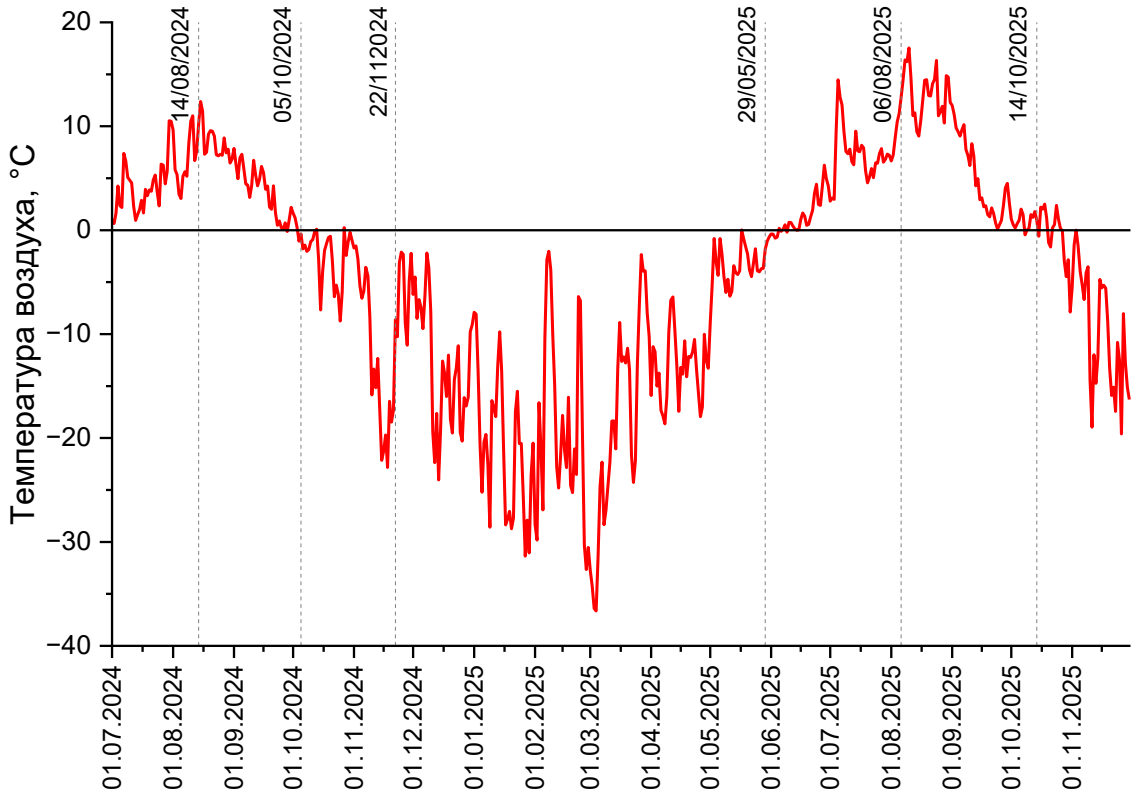
Изменение площади льда Карского моря за сутки в период с 01.07.2024 по 01.12.2025

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Температура воздуха и становление льда



Динамика изменения площади льдов в Карском море в период ледостава 2024-2025 гг. по данных AMSR2

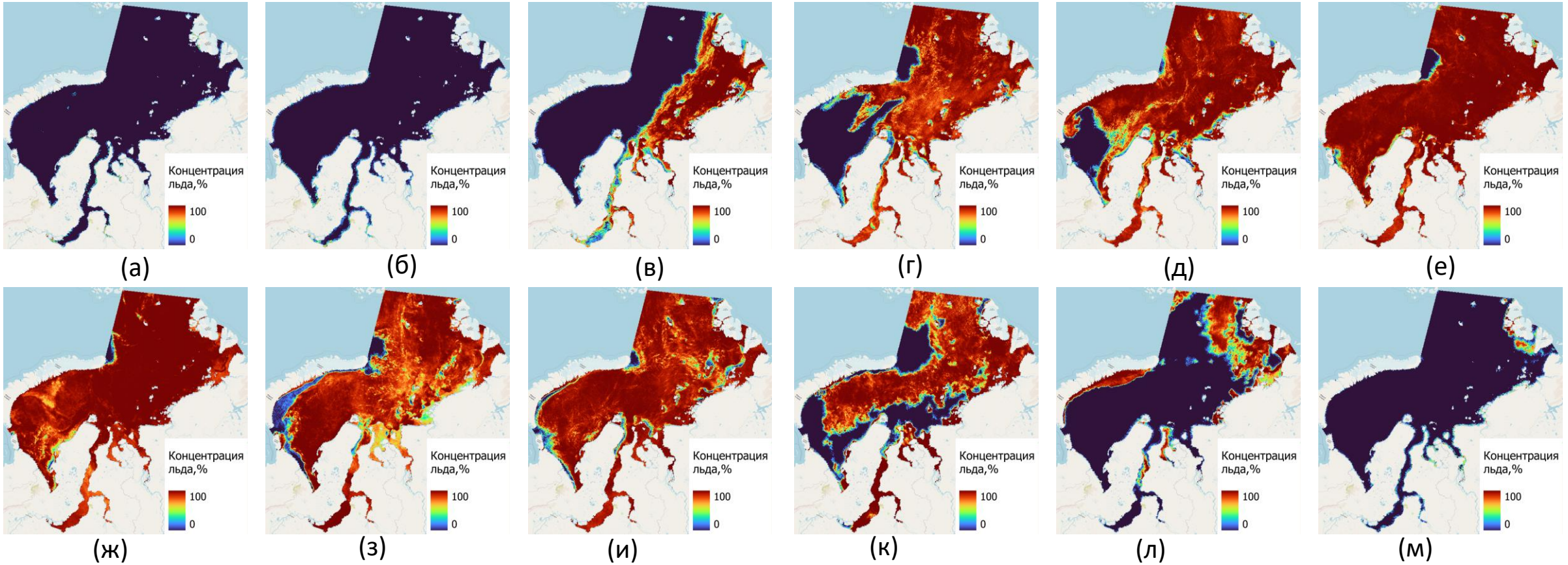


Изменение температуры воздуха на метеостанции имени М. В. Попова (о. Белый)

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Пространственное распределение концентрации морского льда в Карском море в ледовый сезон 2024-2025 гг.

Образование ледовых масс в южной части Карского моря происходит быстрее, чем более северных частях акватории

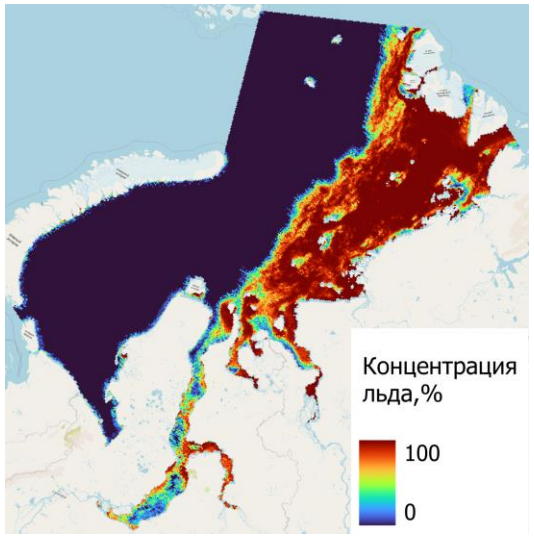


Пространственное распределение концентрации морского льда в Карском море в ледовый сезон 2024-2025 гг. по данным спутникового микроволнового радиометра AMSR2 (алгоритм ASI, сетка 3,125 км): (а) 2024-09-01; (б) 2024-10-01; (в) 2024-11-01; (г) 2024-12-01; (д) 2025-01-01; (е) 2025-02-01; (ж) 2025-03-01; (з) 2025-04-01; (и) 2025-05-01; (к) 2025-06-01; (л) 2025-07-01; (м) 2025-08-01

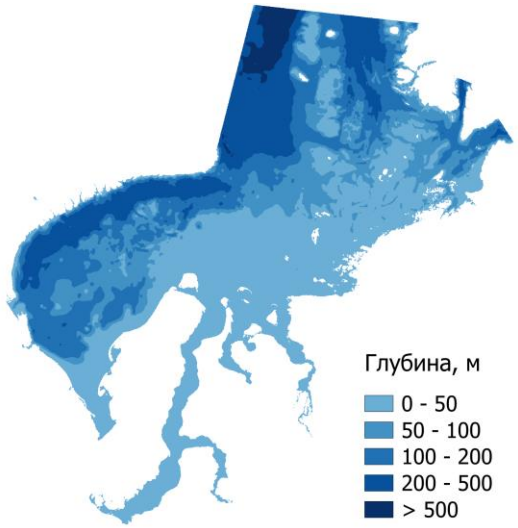
©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Факторы более быстрого замерзания юго-восточной части Карского моря

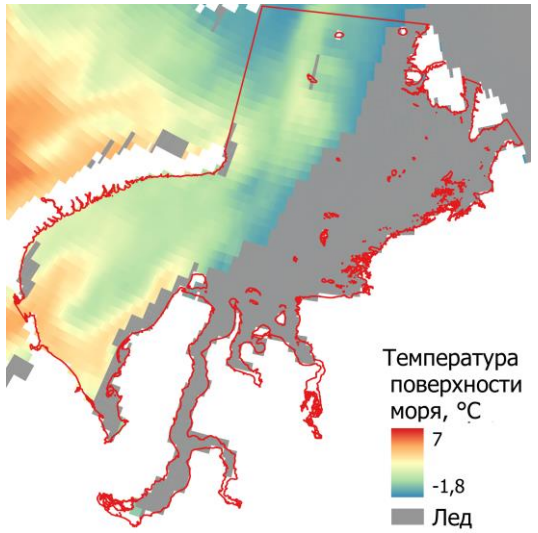
По данным AMSR2 хорошо видно, что образование ледяного покрова начинается в прибрежной мелководной зоне северо-восточной части Карского моря, а затем распространяется вдоль побережья на юго-запад и расширяется. Вероятно, это обусловлено тем, что мелководная шельфовая зона остывает быстрее и распресненные воды (за счет стока Оби, Енисея и Пясины) замерзают раньше. Западная часть Карского моря покрывается льдом медленнее из-за отепляющего влияния со стороны Баренцева моря в совокупности с большей глубиной.



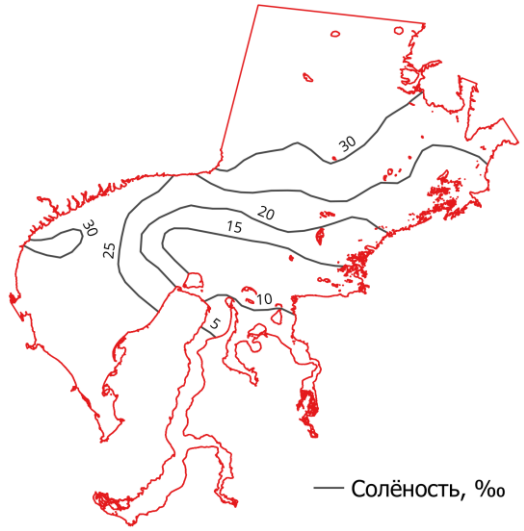
(а)



(б)



(в)



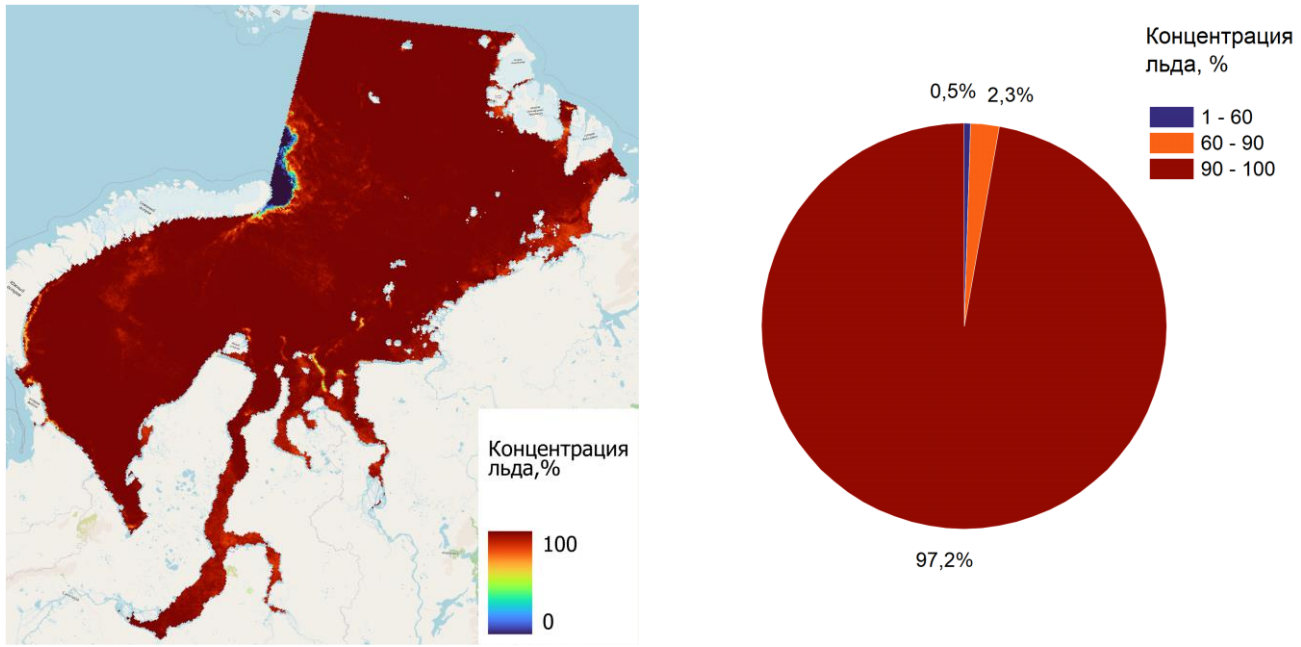
(г)

Факторы, влияющие на замерзание юго-восточной части Карского моря на примере данных от 01.11.2024: (а) покрытие льдами (по данным AMSR2) (б) батиметрическая карта (по данным GEBCO); (в) температура поверхности моря (по данным OISST); (г) среднее распределение солености на поверхности Карского моря летом (август-сентябрь) по данным (Pivovarov et al., 2003).

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Структура концентрации ледовых масс в пик ледового сезона

Максимальная площадь ледяного покрова Карского моря за исследуемый период зафиксирована 10 марта 2025 года и составила 846 101,94 км², что соответствует 93,53 % общей площади акватории моря.



(а) (б)

Пространственное распределение и структурная характеристика ледяного покрова Карского моря в период максимального распространения льдов (10 марта 2025 г., по данным AMSR2): (а) карта концентрации морского льда; (б) классификация ледовых полей по концентрации льда.

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Российского университета транспорта № 103-00001-26-00 от 15.01.2026

©2026, Бочаров А.В., Костяной А.Г., Лебедев С.А.

Спасибо за внимание!