



# Исследование биогенных пленок и концентрации хлорофилла-а в Атлантической Антарктике по спутниковым и судовым данным

Замшин В.В., Матророва Е.Р., Ходаева В.Н., Салюк П.А., Латушкин А.А.

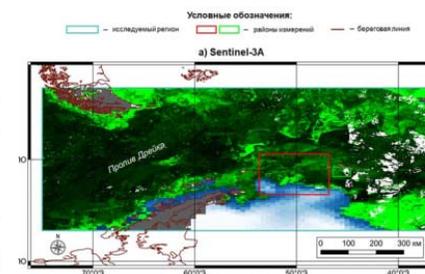
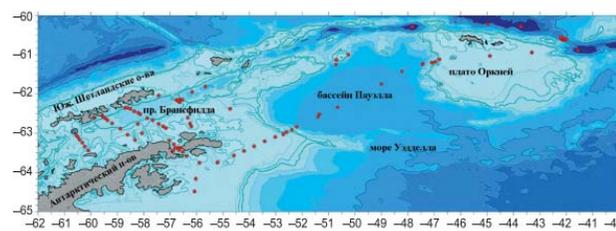
Научно-исследовательский институт аэрокосмического мониторинга «АЭРОКОСМОС»  
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН  
ФГБУН ФИЦ «Морской гидрофизический институт РАН»





# ВВЕДЕНИЕ

С декабря по март в 2021-2022 гг. в Атлантическом секторе Антарктики была реализована комплексная экспедиционная программа, в рамках которой производились как судовые, так и спутниковые исследования морских экосистем [1]. Объектами исследований были, в том числе, процессы цветения микроводорослей и образования биогенных плёнок. Настоящая работа посвящена исследованию особенностей проявления этих процессов в спутниковых радиолокационных данных в районе, охватывающем пролив Брансфилд, Бассейн Пауэлла и прилежащие акватории. Радиолокационная съёмка этого района выполнялась спутниками Sentinel-1A/B на горизонтальной поляризации (для большинства других районов Мирового океана съёмка выполняется на вертикальной поляризации). В качестве дополнительных данных привлекались распределения концентрации хлорофилла-а, полученные по данным спутниковых радиометров MODIS-Aqua, MODIS-Terra, VIIRS-SNPP (<https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), а также по данным судовых измерений, выполненных с помощью проточного лазерного флуориметра [2]. К исследованию также привлекались спутниковые и модельные данные о пространственном распределении температуры морской поверхности и сплочённости морского льда (информационный продукт NOAA Optimum Interpolation Sea Surface Temperature – OISST) [3].





# МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ (а)

В исследовании применялась разработанная ранее [4] информационная инфраструктура, позволяющая использовать разнородную спутниковую информацию во время проведения судовых работ, а также после завершения экспедиций:

НИИ

«АЭРОКОСМОС»

НИС «АКАДЕМИК  
МСТИСЛАВ  
КЕЛДЫШ»

- ПОЛУЧЕНИЕ ДАННЫХ ДЗЗ
- ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЕЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЗЗ
- АГРЕГИРОВАНИЕ СВЕДЕНИЙ ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ
- ФОРМИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ

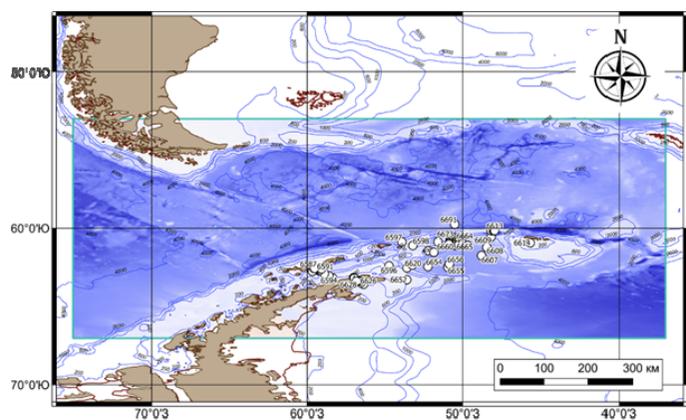
- РЕГУЛЯРНОЕ ПОЛУЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОДУКТОВ, ФОРМИРУЕМЫХ НИИ «АЭРОКОСМОС» НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ДЗЗ
- ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ СУДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
- АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

ДРУГИЕ  
ПОТРЕБИТЕЛИ

- ПОЛУЧЕНИЕ СОВМЕЩЁННЫХ СПУТНИКОВЫХ И ПОДСПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ
- АНАЛИЗ ДАННЫХ В ГИС

Основные группы регистрируемых параметров:

радиолокационные изображения;  
местоположения айсбергов;  
сплоченность морского льда;  
данные альтиметрии;  
концентрации веществ в приповерхностном слое;  
температура морской поверхности;  
оптические изображения; трек НИС; профили солёности и температуры морской поверхности (данные буёв).



Общие сведения об исследуемом регионе:



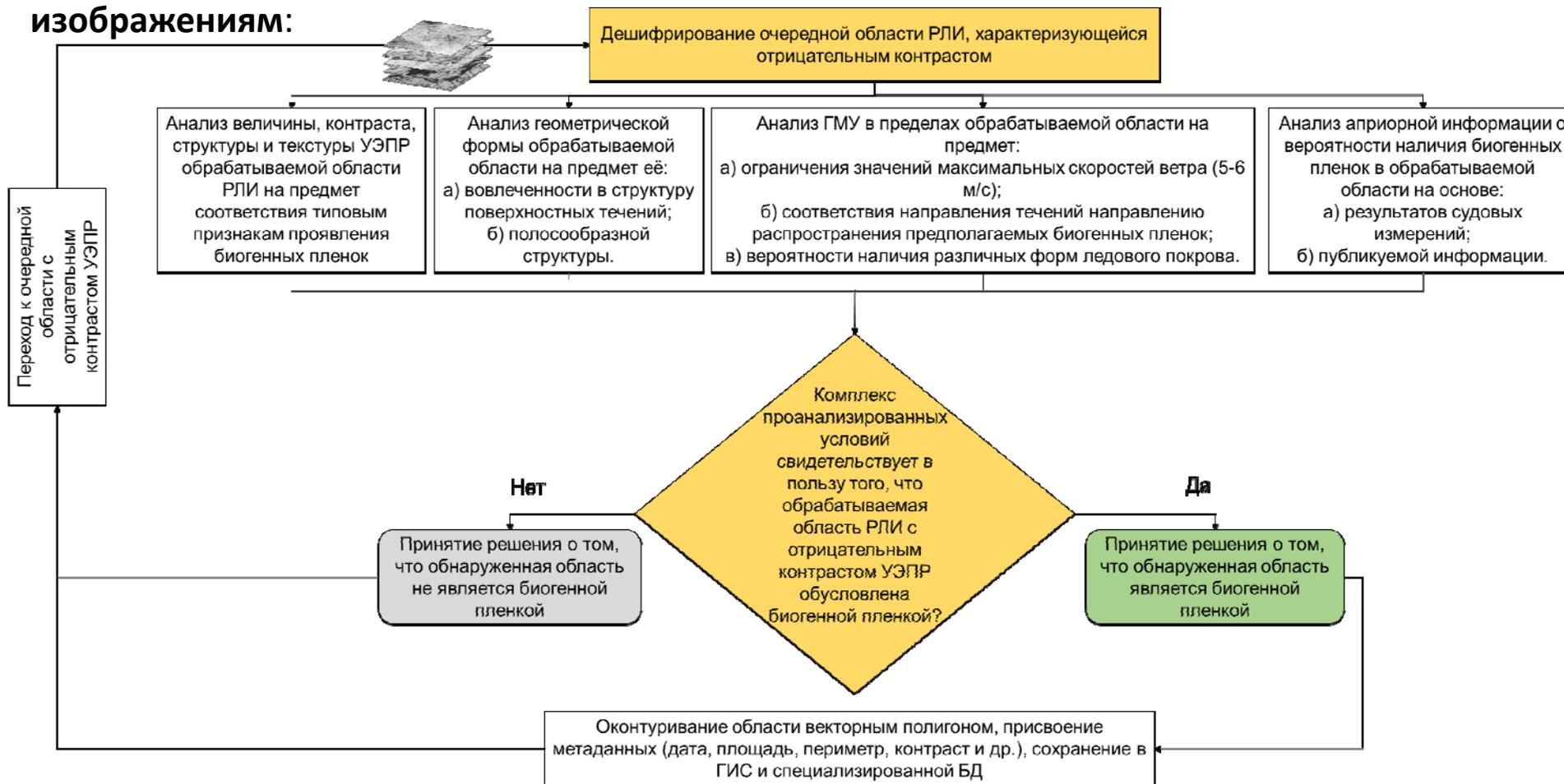
КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ СОВМЕЩЁННЫХ ВРЕМЕННЫХ РАДЛОВ  
РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ ДЗЗ И РЕЗУЛЬТАТОВ СУДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

СРЕДСТВА СВЯЗИ И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ (В Т.Ч. СПУТНИКОВЫЙ ИНТЕРНЕТ-КАНАЛ НИС «АКАДЕМИК МСТИСЛАВ КЕЛДЫШ», FTP-СЕРВЕР НИИ «АЭРОКОСМОС»)

Геоинформационная среда (ГИС)

# МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ (6)

Принципиальная схема выявления биогенных плёнок по спутниковым радиолокационным изображениям:

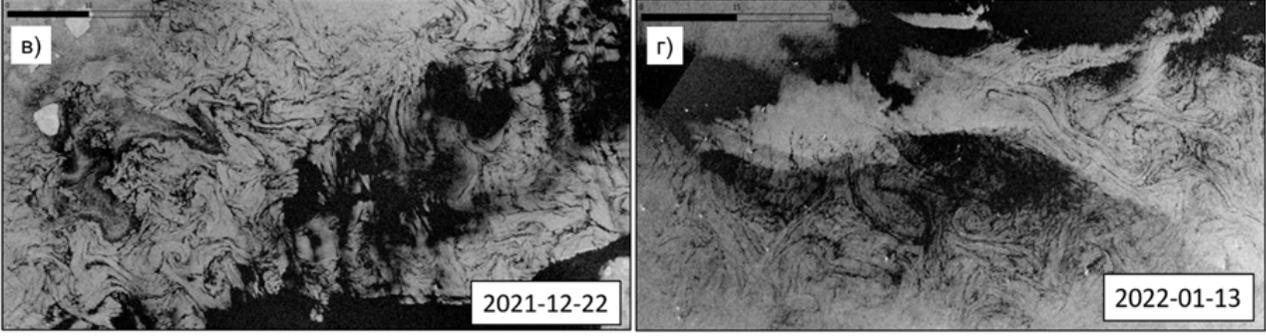
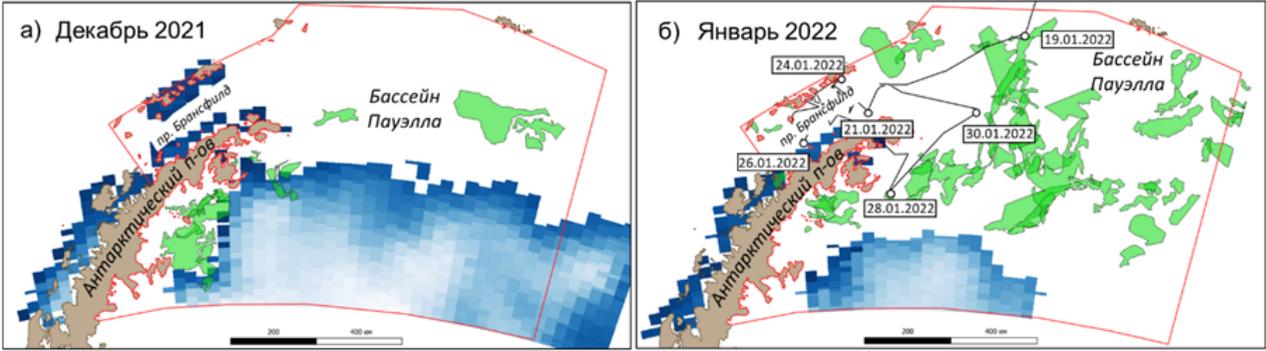


# РЕЗУЛЬТАТЫ (а)

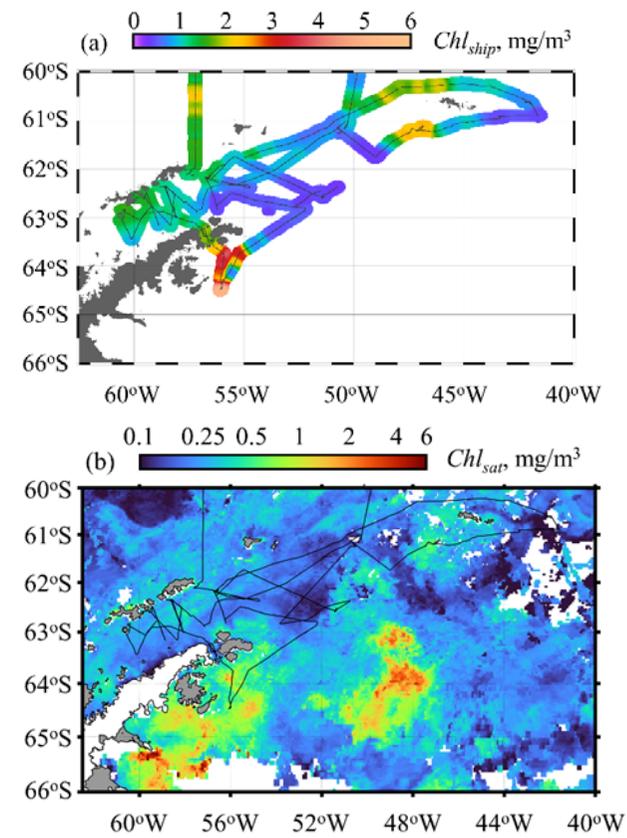
Условные обозначения:

- полигон скопления биогенных пленок
- район исследования биогенных пленок
- маршрут НИС «АМК» с 19.01.2022 по 31.01.2022

Сплоченность морского льда, %



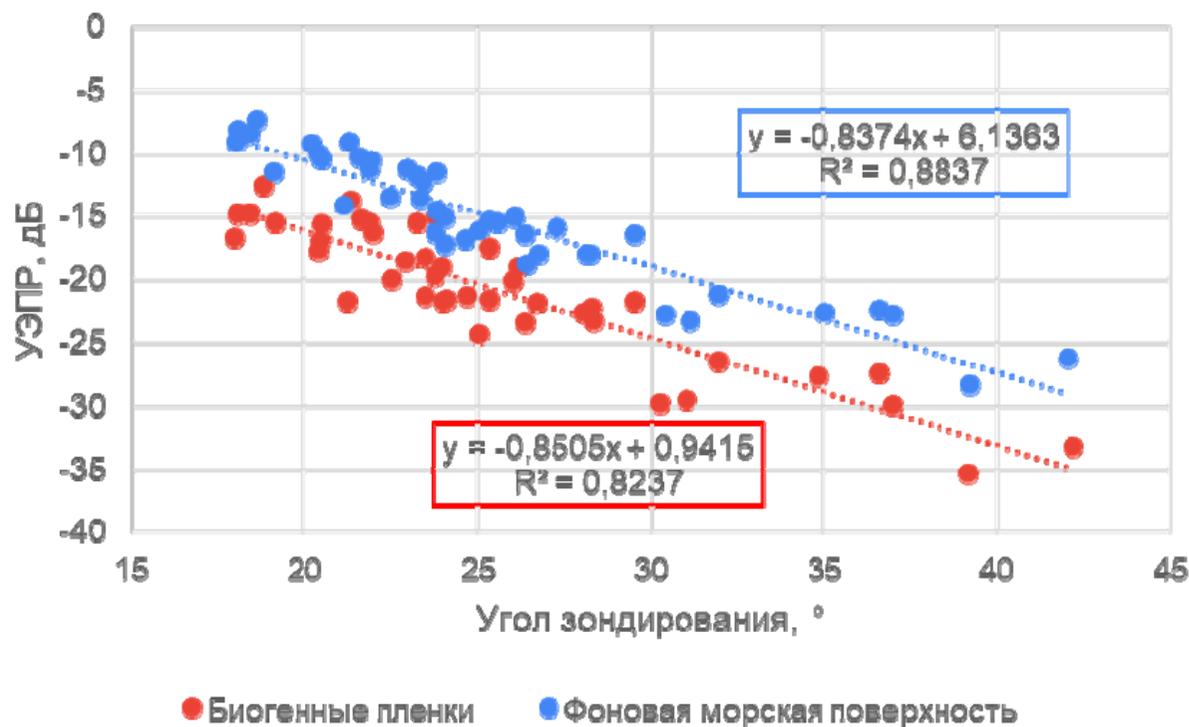
Пространственное распределение концентрации хлорофилла-а (мг/м<sup>3</sup>), полученные в 87-ом рейсе на НИС Академик Мстислав Келдыш: (а) проточные флуориметрические измерения на ходу судна с глубины 5 метров; (б) медианные значения объединенных спутниковых оценок с 15 января по 15 февраля 2022 г.



Пространственное распределение скоплений биогенных пленок в пределах района исследования (спутниковые радиолокационные данные): (а-б) карты с контурным отображением биогенных пленок и сплоченности морского льда в пределах области исследования, построенные с помощью ГИС-среды (QGIS); (в-г) примеры радиолокационных образов биогенных пленок, обнаруженных по данным спутников (Sentinel-1A/B)



## РЕЗУЛЬТАТЫ (б)



Точечные диаграммы и графики парной линейной регрессии, иллюстрирующие зависимость УЭПР от углов зондирования в зонах присутствия биогенных пленок и на фоновых участках морской поверхности

Анализ графика показывает, что совокупности точек (соответствующих биогенным пленкам и фоновой морской поверхности) образуют вытянутые скопления, хорошо аппроксимируемые прямыми линиями ( $R^2=0.8237$  и  $R^2=0.8837$  – для биогенных пленок и фона соответственно). В зависимости от угла зондирования осреднённые по площади значения УЭПР морской поверхности в присутствии биогенных плёнок, варьируются в диапазоне от -35дБ до -13дБ. При этом осреднённые по площади значения УЭПР фоновой морской поверхности варьируются в диапазоне от -28дБ до -7дБ. Углы наклона линий парной линейной регрессии, определяемые коэффициентами линейной регрессии, имеют близкие значения ( $k = -0.8505$  и  $k = -0,8374$  – для биогенных пленок и фона соответственно). При этом несовпадение линий, определяемое слагаемыми уравнений линейной регрессии 0.9415 (для биогенных плёнок) и 6.1363 (для фоновой морской поверхности), позволяет определить средний контраст биогенных пленок, составляющий  $\sim -5.2$  дБ.



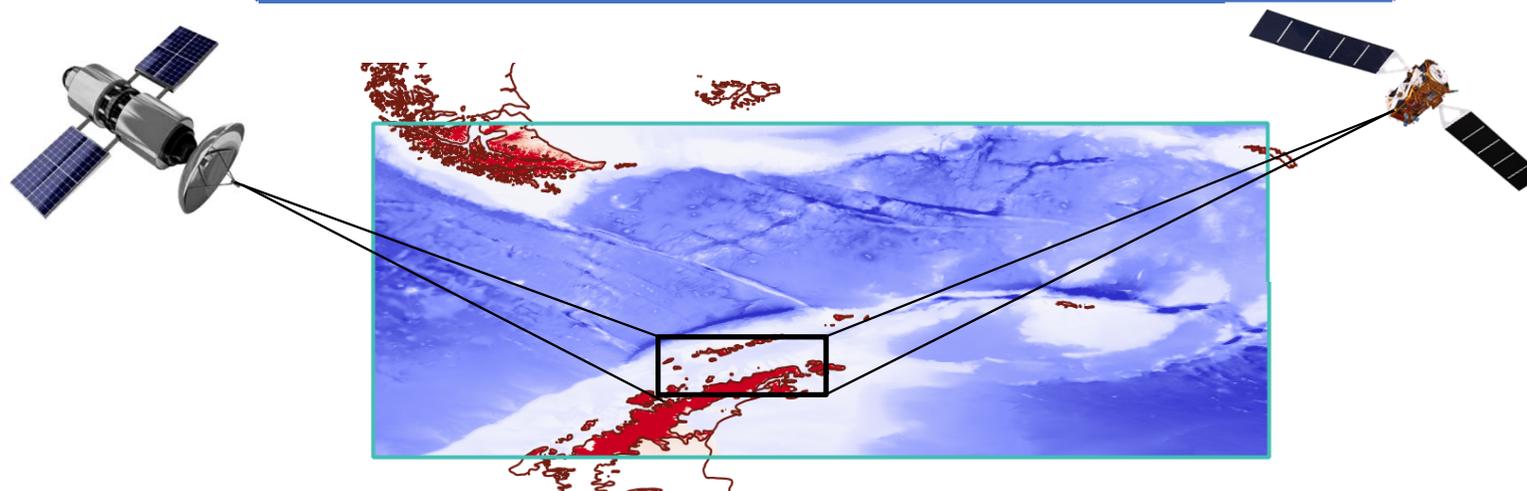
## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования показано, что радиолокационные изображения, формируемые спутниками Sentinel-1A/B на поляризации HH в регионе Атлантическая Антарктика (который характеризуется специфическими гидрометеорологическими условиями) позволили наблюдать пространственно-временную динамику биогенных плёнок, связанных с цветением водорослей. Установлено, что средний контраст УЭПР морской поверхности, загрязнённой биогенными плёнками, составил приблизительно  $-5.2$  дБ (обработано 349 радиолокационных изображений). В декабре 2021 г. наиболее часто участки скопления биогенных пленок регистрировались у Антарктического полуострова, в январе 2022 г. - в бассейне Пауэлла, реже биогенные пленки встречались в проливе Брансфилд. Выявлена интенсификация образования пленок биогенного происхождения в январе 2022 г., которая может быть объяснена освобождением значительных площадей акватории от морского льда.

Пространственное распределение биогенных плёнок, зарегистрированных по спутниковым радиолокационным данным, проанализировано совместно с судовыми и спутниковыми оптическими данными о концентрации хлорофилла-а. Для этого использовалась геоинформационная система комплексного мониторинга Атлантической Антарктики [4]. Совместный анализ в целом продемонстрировал адекватность полученного набора результатов обработки спутниковых (радиолокационных и оптических) и подспутниковых данных. Полученные результаты указывают на перспективность применения спутникового радиолокационного и оптического мониторинга биогенных плёнок и цветений микроводорослей в Атлантической Антарктике.



Спасибо за внимание



1. Морозов Е. Г., Флинт М. В., Орлов А. М., Фрей Д. И., Молодцова Т. Н., Кречик В. А., Латушкин А. А., Салюк П. А., Мурзина С. А., Минин К. В., Мишин А. В., Мошаров С. А., Селиверстова А. М., Борзых О. Г., Мельник А. В., Михайлов Д. Н., Чукмасов П. В., Замшин В. В., Битютский Д. Г. Гидрофизические и экосистемные исследования в атлантическом секторе Антарктики (87-й рейс научно-исследовательского судна “Академик Мстислав Келдыш”) // Океанология. 2022. Т. 62. № 5. С. 825–827. <https://doi.org/10.31857/S003015742205015X>
2. Нагорный И. Г., Салюк П. А., Майор А. Ю., Дорошенко И. М. Мобильный комплекс для оперативного исследования водных акваторий и приподной атмосферы // Приборы и техника эксперимента. 2014. № 1. С. 103–106
3. Richard W. Reynolds, Viva F. Banzon, and NOAA CDR Program (2008): NOAA Optimum Interpolation 1/4 Degree Daily Sea Surface Temperature (OISST) Analysis, Version 2. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://doi.org/10.7289/V5SQ8XB5>
4. Замшин В. В., Матросова Е. Р., Морозов Е. Г., Спиридонов В. И., Фрей Д. И., Харченко В. Д., Ходаева В. Н., Четверкова О. И., Шлюпиков В. А. Информационное обеспечение из космоса рейса НИС “Академик Мстислав Келдыш” в Южный океан // Исслед. Земли из космоса. 2020. № 4. С. 74–85. <https://doi.org/10.31857/S0205961420040077>

Работа выполнена в рамках Государственного задания FNEE-2022-0006, FNNN-2022-0001.