

Двадцать третья международная конференция
"СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА"
10 - 14 ноября 2025 г., Москва



ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Использование спутниковой информации для составления краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове Восточно-Сибирского моря

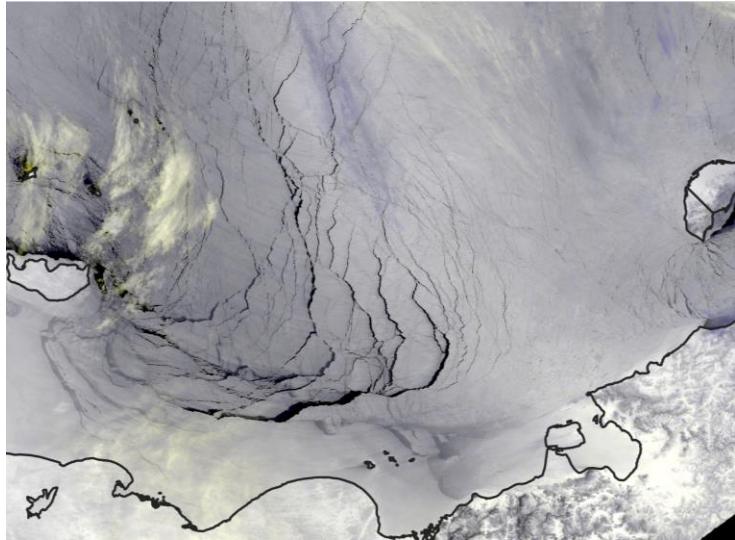
Ершова А.А.
Дымент Л.Н.
Порубаев В.С.



ААНИИ

Арктический
и антарктический
научно-исследовательский
институт

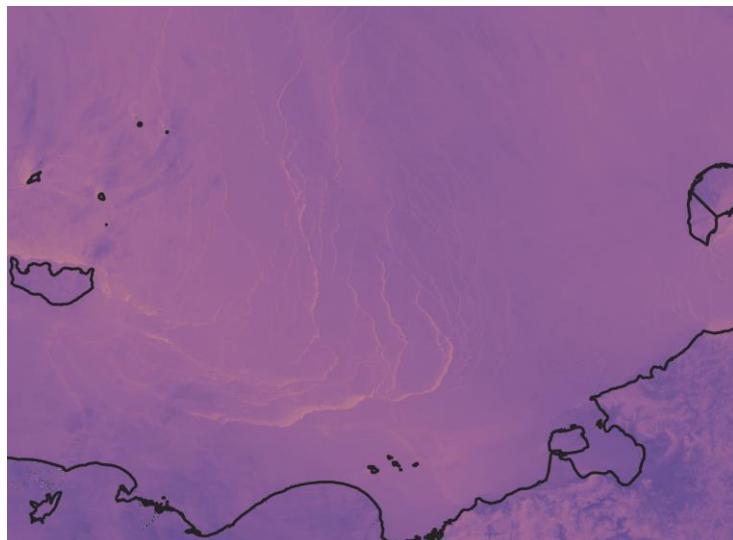
Разрывы в морском ледяном покрове



Композитный спутниковый снимок VIIRS Suomi NPP,
10.02.2020



Экспедиция Ямал-2015, аэрофотосъемка

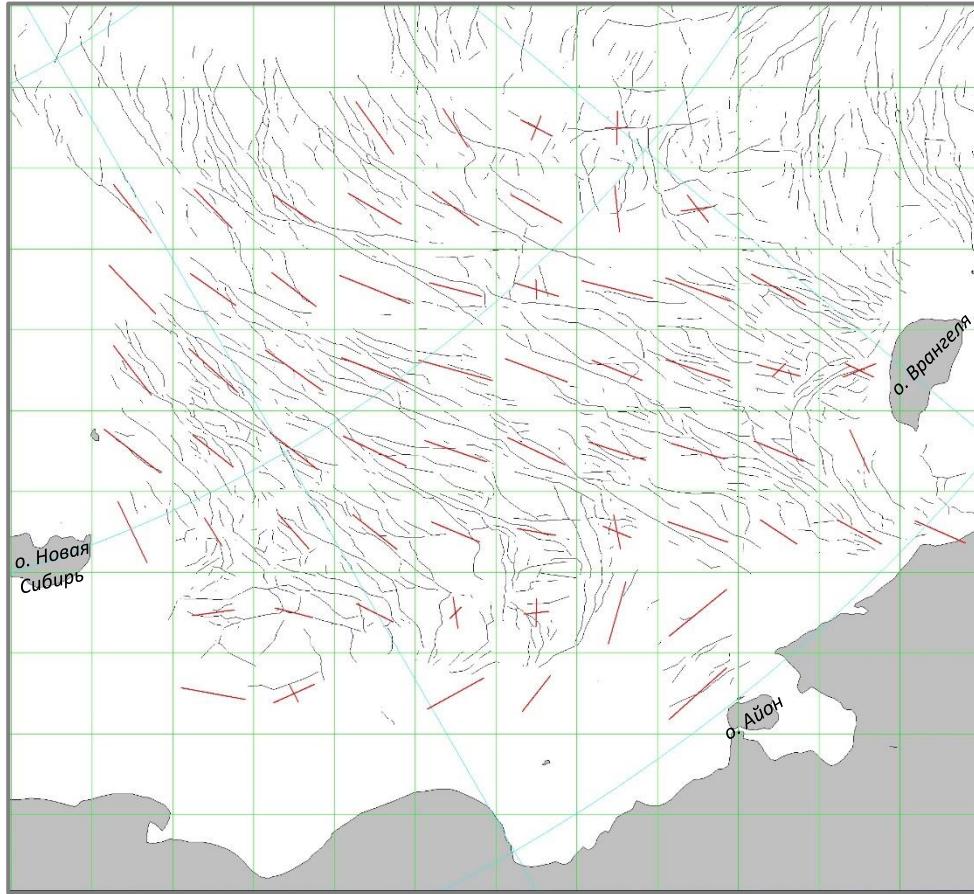


Спутниковый снимок VIIRS Suomi NPP (тепловой
инфракрасный диапазон)



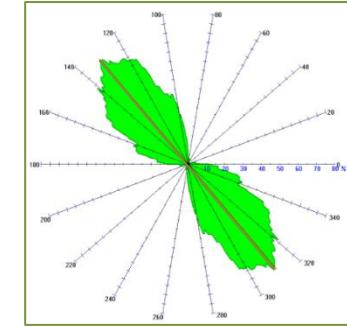
Экспедиция ЛЕД-СМП 2025, фото с мостика ледокола

Преобладающая (модальная) ориентация разрывов

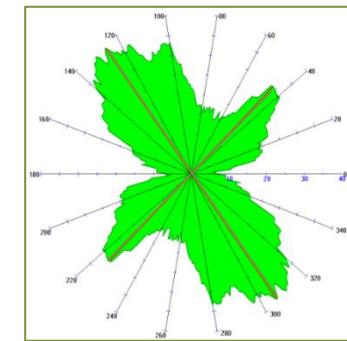


Фактические данные о разрывах в Восточно-Сибирском море 06.02.2022, дешифрированные по снимку ИСЗ SuomiNPP/VIIRS, с нанесенной преобладающей (модальной) ориентацией разрывов в сетке 100x100 км

Одномодальное распределение ориентации разрывов



Двумодальное распределение ориентации разрывов



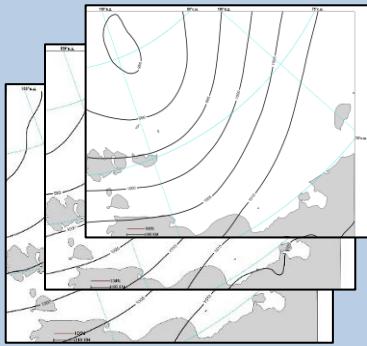
Модальная ориентация схематически представляется ориентированным отрезком, привязанным к центру квадрата

Краткосрочное прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове: метод аналогов

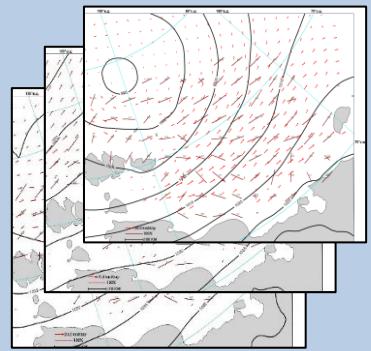


Краткосрочное прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове: метод аналогов

Входные данные: прогностическое поле атмосферного давления за 3 дня



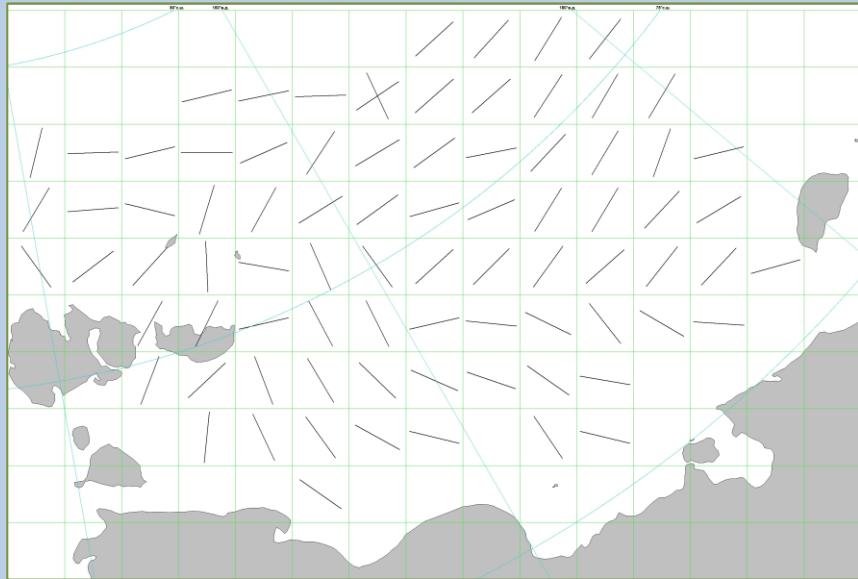
Подбор комплексного аналога из электронного архива



Составление прогноза: этап 1
расчет модальной ориентации по фактическим данным аналога

Составление прогноза: этап 2
расчет модальной ориентации по данным дрейфа льда

Итоговый прогноз



Исходные данные атмосферного давления PRMSL:

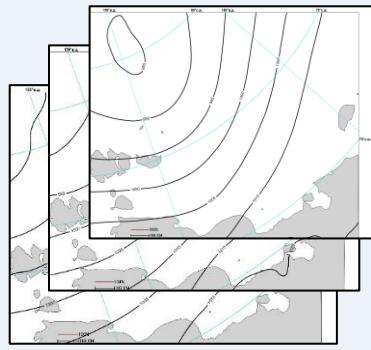
Global Forecast System



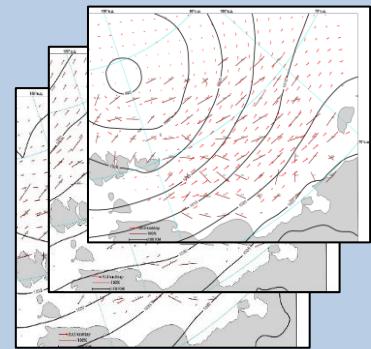
National Centers for Environmental Information
NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION

Краткосрочное прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове: подбор аналога

Входные данные: прогностическое поле атмосферного давления за 3 дня



Подбор комплексного аналога из электронного архива



Метрика сходства полей атмосферного давления прогноза и аналога:

$$d^2 = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(\Delta p_i^f - \Delta p_i^a)}{\overline{\Delta p^f} \cdot r_i} \right]^2$$

Δp_i^f и Δp_i^a — изменение атмосферного давления между узлами i и $i+1$ в прогнозическом поле атмосферного давления и в потенциальном аналоге
 r_i — расстояние между узлами i и $i+1$ (км)
 $\overline{\Delta p^f}$ — среднее изменение атмосферного давления на 1 км в прогнозическом поле атмосферного давления
 n — число пар узлов

$$d^* = k_1 d_1^2 + k_2 d_2^2 + k_3 d_3^2$$

k_1, k_2 и k_3 — весовые коэффициенты, соответствующие интенсивности поля атмосферного давления для каждого из учитываемых трех дней

Краткосрочное прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове: расчет модальной ориентации

Этап 1. Исходные данные:

Спутниковые снимки VIIRS ИСЗ SuomiNPP 375 м:



- канал I5 (10.500-12.400 μ m)
- композитные 3х-канальные снимки из архива (каналы I5 и I4), полученные с пункта приема-передачи спутниковой информации в г.Баренцбург

Значения модальной ориентации аналога принимаются за прогностические

Составление
прогноза:
этап 1
расчет модальной
ориентации по
фактическим
данным аналога

Составление
прогноза:
этап 2
расчет модальной
ориентации по
данным дрейфа
льда

Краткосрочное прогнозирование преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове: расчет модальной ориентации

Составление
прогноза:
этап 1

расчет модальной
ориентации по
фактическим
данным аналога

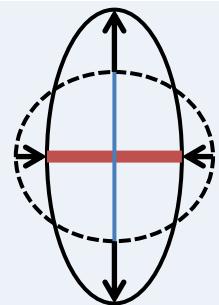
Составление
прогноза:
этап 2

расчет модальной
ориентации по
данным дрейфа
льда

Этап 2. Исходные данные дрейфа:



OSI SAF Global Low Resolution Sea Ice Drift, OSI-405-c
– SSMIS, AMSR2, ASCAT



Эллипс деформации

Растяжение ледяного покрова приводит к образованию в нем разрывов, которые преимущественно ориентированы перпендикулярно большой оси эллипса деформации, т.е. параллельно оси сжатия.

Результаты проверки метода:

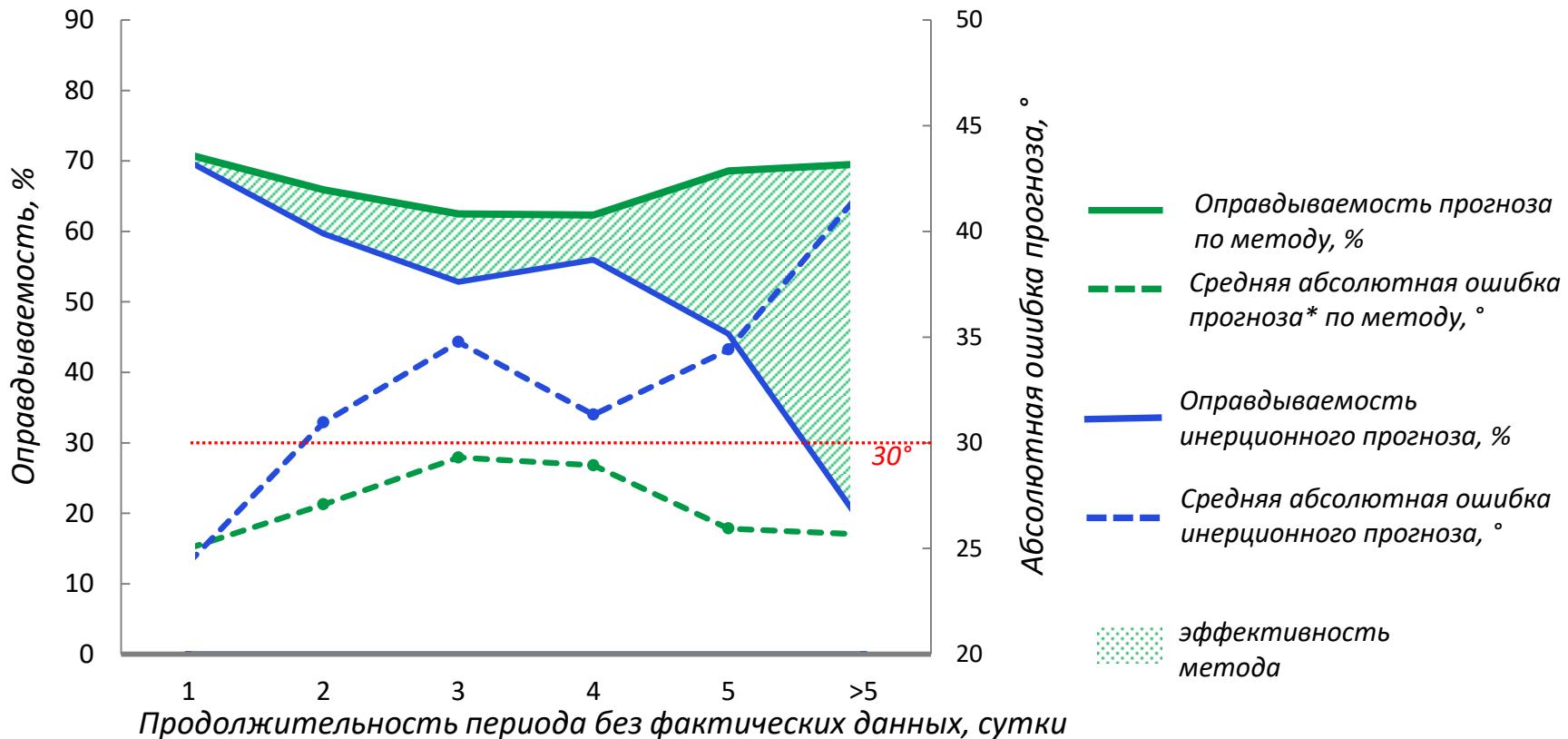
оперативные испытания с декабря 2024 г. по февраль 2025 г.

Оправдываемость прогноза преобладающей ориентации разрывов – отношение количества квадратов сетки, в которых прогностическая преобладающая ориентация разрывов отличалась от фактической не более чем на 31° в декабре и феврале и не более чем на 30° в январе, к общему числу квадратов (величина допустимой изменчивости рассчитывалась как 0.674σ для каждого месяца).

Средняя оправдываемость прогнозов

Заблаговременность прогноза, часы	Количество прогнозов	Оправдываемость, %		Эффективность, %
		Прогноз по методу	Инерционный прогноз	
24	40	68	61	7
48	40	66	53	13
72	40	65	46	19

Оправдываемость краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в зависимости от продолжительности предшествующего периода, не обеспеченного фактическими данными:



*Абсолютная ошибка прогноза – осредненная по всем квадратам абсолютная разность между полученным прогностическим значением преобладающей ориентации разрывов в i -м квадрате и модальной ориентацией, рассчитанной в нем по фактическим данным

Диагностические прогнозы

- прогностические поля атмосферного давления заменяются фактическими, т.е. прогноз составляется при 100%-ной оправдываемости прогностического поля атмосферного давления

40 диагностических прогнозов:

Архив аналогов по данным
ручного дешифрирования: 2016-
2024 гг., дешифрированы 500
снимков

Средняя оправдываемость – 68%

Архив аналогов по данным
автоматического
дешифрирования: 2018-2025 гг.,
более 1300 снимков

Средняя оправдываемость – 72%

Заключение:

При наличии фактических данных о разрывах по всей акватории моря накануне прогностической даты оправдываемость преобладающей ориентации разрывов по методу сопоставима с инерционным прогнозом.

С увеличением заблаговременности прогноза эффективность метода возрастает.

Наибольшая эффективность метода по сравнению с инерционным прогнозом наблюдается при отсутствии фактических данных о разрывах за 4 и более дней от даты прогноза.

Соответствующая закономерность наблюдается и в значениях средних абсолютных ошибок прогноза.

Автоматическое дешифрирование разрывов способствует увеличению количества комплексных аналогов, обеспеченных фактическими данными о разрывах, что увеличивает оправдываемость прогнозов.

Метод прошел ЦМКП и推薦ован к использованию в практике ААНИИ в качестве основного.



Спасибо за внимание!