

УДК: 551.326.032

Результаты испытаний автоматизированного метода прогноза преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых с заблаговременностью до трех суток

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

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург, Россия*

Обеспечение круглогодичной навигации по Северному морскому пути является важной задачей социально-экономического развития Российской Федерации.

При выборе оптимального пути следования судна в сплоченных льдах арктических морей важным фактором является наличие попутных разрывов в ледяном покрове, так как они представляют собой потенциальные маршруты более легкого плавания. Использование попутных разрывов позволяет увеличить скорость движения судна, тем самым повышая экономическую эффективность и безопасность плавания. Прогностическая информация о разрывах учитывается при планировании и организации морских операций. В случае, когда по какой-либо причине нет возможности получить актуальную спутниковую информацию о ледяном покрове в районе следования судна, для получения данных о разрывах могут быть использованы диагностические прогнозы. Таким образом, прогнозы преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове являются важной составной частью ледовых прогнозов.

К методу прогноза преобладающей ориентации разрывов предъявляются следующие требования:

- предоставлять прогностические значения с заблаговременностью до 3 суток;
- предоставлять прогностические значения с пространственной дискретностью не более 100 км;
- предоставлять прогностические значения независимо от наличия фактических данных о разрывах на день составления прогноза, поскольку из-за отсутствия облачности информация о разрывах со снимков ИСЗ оптического диапазона может оказаться недоступной;
- свести к минимуму время затраты на работу эксперта при составлении прогноза;
- использовать современные данные о морском ледяном покрове для исключения ошибок, связанных с климатическими изменениями.

В 2024 г. в Арктическом и антарктическом научно-исследовательском институте (ФГБУ «АНИИ») был разработан автоматизированный метод прогноза преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых с заблаговременностью до трех суток. В качестве входных данных при составлении прогноза используются поля прогностического атмосферного давления с заблаговременностью 24, 48 и 72 ч, представленные значениями в узлах географической сетки с шагом 1° по широте и 2° по долготе. Основа метода, описание используемых исходных данных, особенности расчета и составления прогноза были изложены в [1].

В период декабрь 2023 г. – март 2024 г. в ААНИИ проводились производственные испытания разработанного метода. Всего за период испытаний было составлено 180 краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов, из которых 60 были составлены с заблаговременностью 24 ч, 60 – с заблаговременностью 48 ч и 60 прогнозов – с заблаговременностью 72 часа.

Оправдываемость и эффективность прогнозов преобладающей ориентации разрывов различной заблаговременности в период испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Оправдываемость и эффективность краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых с различной заблаговременностью

Заблаговременность прогноза, часы	Количество прогнозов	Оправдываемость, %		Эффективность, %
		Разработанный метод	Инерционный прогноз	
24	60	74	72	2
48	60	71	66	5
72	60	70	59	11

Результаты испытаний показывают, что оправдываемость прогноза преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых по предлагаемому методу, в отличие от инерционного прогноза, не существенно уменьшается при увеличении заблаговременности прогноза. Наибольшая эффективность метода по сравнению с инерционным прогнозом наблюдалась при прогнозах с заблаговременностью 72 ч и составляла 11 %.

Достаточно высокая средняя оправдываемость инерционных прогнозов обусловлена инерционностью ледовых процессов и присущей морю Лаптевых преимущественно низкой интенсивностью воздушных потоков, приводящей в большинстве случаев к сохранению модальной ориентации разрывов на протяжении нескольких дней. Эффективное использование инерционного прогноза возможно при условии получения фактических данных за даты, непосредственно предшествующие дате прогноза. Основным недостатком снимков ИСЗ видимого и инфракрасного диапазона является ограничение видимости в условиях плотной облачности, что препятствует получению фактических данных о разрывах. В период с декабря 2023 по март 2024 года было выявлено 14 интервалов продолжительностью от 3 суток и более, в течение которых акватория моря Лаптевых на снимке была закрыта плотной облачностью. За период испытаний максимальный интервал, в течение которого было невозможно получить фактические данные о разрывах, составил 11 дней. Эффективность краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых с различной заблаговременностью в зависимости от продолжительности периода, не обеспеченного фактическими данными о разрывах, представлена в табл. 2.

Из данных табл. 2 видно, что эффективность краткосрочного прогноза преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых по предлагаемому методу повышается при увеличении периода, не обеспеченного фактическими данными о разрывах. Эффективность краткосрочного прогноза по методу достигает наибольших значений в тех случаях, когда фактические данные отсутствуют на протяжении 5 суток и более, то есть продолжительность периода, не обеспеченного фактическими данными, превышает продолжительность синоптического периода.

Таблица 2. Оправдываемость краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых по разработанному и инерционному методам в течение периода испытаний 2023/2024 гг. в зависимости от продолжительности предшествующего дате прогноза периода, не обеспеченного фактическими данными о разрывах

Продолжительность периода, не обеспеченного фактическими данными, сутки	Количество прогнозов	Оправдываемость, %		Эффективность, %
		Разработанный метод	Инерционный прогноз	
1–2	82	74	73	1
3	48	69	66	3
4	20	68	63	5
5	18	69	56	13
>5	12	76	33	43
Всего	180			

Значимое изменение модальной ориентации разрывов происходит при смене направления воздушных потоков высокой интенсивности. Поэтому для оценки эффективности разработанного метода по сравнению с инерционным прогнозом в течение периода испытаний были выбраны 16 дат, накануне которых произошла существенная перестройка поля атмосферного давления и, как следствие, поля дрейфа льда. Всего было составлено 53 прогноза различной заблаговременности, включающих указанные даты (21 прогноз заблаговременностью 72 ч, 17 прогнозов заблаговременностью 48 ч, 15 – заблаговременностью 24 ч). Результаты оправдываемости прогнозов, составленных по разработанному методу и инерционному, представлены в табл. 3.

Таблица 3. Оправдываемость краткосрочных прогнозов преобладающей ориентации разрывов в море Лаптевых с различной заблаговременностью при существенной перестройке полей атмосферного давления в течение прогностического периода

Продолжительность периода, не обеспеченного фактическими данными, сутки	Количество прогнозов	Оправдываемость, %		Эффективность срочных / диагностических прогнозов, %
		Разработанный метод по прогностическому / по фактическому полю атмосферного давления	Инерционный прогноз	
1-2	14	71 / 74	53	18 / 21
3-4	20	68 / 72	51	17 / 21
≥5	19	73 / 74	45	28 / 29
Всего	53			

Для устранения ошибок, связанных с ошибками прогноза полей атмосферного давления, были составлены диагностические прогнозы преобладающей ориентации разрывов. Для этого в каждом из 53 отобранных краткосрочных прогнозов

прогностические данные полей атмосферного давления были заменены на фактические. При этом прогнозам различной заблаговременности, составленным к одной и той же дате, ставился в соответствие один и тот же диагностический прогноз. Всего было составлено 24 диагностических прогноза. Полученные результаты также приведены в табл. 3.

В случае значительного изменения структуры полей атмосферного давления в течение прогностического периода эффективность метода по сравнению с инерционным прогнозом существенно возрастает и составляет в зависимости от наличия фактических данных для составления инерционного прогноза от 17 до 28 % (см. табл. 3). Ошибка прогноза полей атмосферного давления в течение периода испытаний снижала оправдываемость прогноза по методу на 1–4 %.

В ходе испытаний также определялись абсолютные ошибки прогноза преобладающей ориентации разрывов. Результаты, представленные в табл. 4, показали, что средние абсолютные ошибки значений преобладающей ориентации разрывов как при прогнозе по методу, так и при инерционном прогнозе не превышают допустимую величину (30°) и различаются между собой незначительно.

Таблица 4. Абсолютные ошибки прогнозов преобладающей ориентации разрывов, градусы

Заблаговременность прогноза, часы	Количество прогнозов	Абсолютная ошибка	
		Разработанный метод	Инерционный прогноз
24	60	23	23
48	60	24	26
72	60	26	28

В случаях значительного изменения полей атмосферного давления в течение прогностического периода средние абсолютные ошибки значений преобладающей ориентации разрывов при прогнозе по методу в среднем на 9° меньше, чем при инерционном прогнозе, и в отличие от него не превышают допустимую величину (30°). Результаты расчета абсолютных ошибок прогнозов преобладающей ориентации разрывов при существенной перестройке полей атмосферного давления представлены в табл. 5.

Таблица 5. Абсолютные ошибки прогнозов преобладающей ориентации разрывов при существенной перестройке полей атмосферного давления, градусы

Период, не обеспеченный фактическими данными, сутки	Количество прогнозов	Абсолютная ошибка	
		Разработанный метод	Инерционный прогноз
1–2	14	25	32
3–4	20	26	34
≥5	19	23	34
Всего:	53		

Заключение

При наличии фактических данных о разрывах по всей акватории моря накануне даты составления прогноза и низкой интенсивности воздушных потоков в прогностический период оправдываемость преобладающей ориентации разрывов по методу сопоставима с инерционным прогнозом.

Значительная эффективность метода по сравнению с инерционным прогнозом наблюдается в следующих случаях:

- отсутствие фактических данных о разрывах за 5 и более дней от даты прогноза;
- изменение направления воздушных потоков средней или высокой интенсивности в течение прогностического периода;
- повышение интенсивности воздушных потоков до высокой в прогностический период.

Соответствующая закономерность наблюдается и в значениях средних абсолютных ошибок прогноза.

В условиях отсутствия автоматизированного метода дешифрирования разрывов в ледяном покрове на снимках ИСЗ наличие фактических данных о разрывах накануне даты составления прогноза маловероятно.

На основе вышеприведенных результатов испытаний **Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета** на заседании от 8 ноября 2024 г. приняла решение рекомендовать ФГБУ «ААНИИ» внедрить метод краткосрочного прогноза преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых с заблаговременностью до трех суток в оперативную практику ААНИИ в качестве основного.

Список литературы

1. Дымент Л.Н., Ершова А.А., Порубаев В.С. Метод краткосрочного прогноза преобладающей ориентации разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых в зимне-весенний период // Проблемы Арктики и Антарктики. 2024. Том 70, № 1. С. 87-102.