

ОПРАВДЫВАЕМОСТЬ ДОЛГОСРОЧНЫХ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ ЗА ПЕРИОД 2018–2022 ГОДОВ В МОРЯХ ТРАССЫ СЕВЕРНОГО МОРСКОГО ПУТИ

Актуальность долгосрочного ледового прогнозирования в гидрометеорологическом обеспечении (ГМО) для планирования и проведения морских операций

Увеличение объема морских перевозок по акватории Северного морского пути (СМП) до 36 млн тонн в 2023 году и планируемый переход к круглогодичной навигации в 2024 году определяют большую практическую значимость ГМО для планирования и проведения морских операций, а также для минимизации рисков.

Одно из основных направлений ГМО — прогнозирование состояния ледяного покрова. Ледяной покров является одной из главных особенностей гидрометеорологического режима морей и препятствием для морской деятельности.

В АНИИ в рамках ведомственного заказа Росгидромета разрабатываются долгосрочные ледовые прогнозы с заблаговременностью от 1 до 5 месяцев.

Гидрометеорологическое обеспечение общего пользования включает в себя:

1. Долгосрочный прогноз на 1-ю половину навигации (содержащий 60 прогнозов параметров ледового режима) — разрабатывается в середине марта.
2. Уточнение мартовского прогноза на 1-ю половину навигации — разрабатывается в середине июня.
3. Долгосрочный прогноз на 2-ю половину навигации (содержащий 68 прогнозов параметров ледового режима) — разрабатывается в середине августа.
4. Уточнение августовского прогноза на 2-ю половину навигации разрабатывается в середине сентября и середине октября.

Для первой половины навигации прогноз содержит сведения о развитии основных элементов ледового режима, наиболее важных для судоходства на июнь — первую половину августа:

- взлом припая на наиболее важных участках плавания;
- общая ледовитость морей и их районов;
- положение и площадь ледяных массивов;
- общий фон ледовых условий по сравнению с нормой.

Для второй половины навигации прогнозы содержат сведения об ожидаемых ледовых условиях в осенний период, в сентябре–октябре:

- площади и положение ледяных массивов;
- сроки устойчивого ледообразования;
- достижения льдом критических для плавания толщин (20–25 см);
- общий фон ледовых условий по сравнению с нормой.

По запросам различных организаций также разрабатываются:

1. Долгосрочный прогноз распределения сплоченности ледяного покрова в летний сезон по российским арктическим морям, с заблаговременностью до 30 суток с декадной дискретностью (до 35–40 прогнозов).
2. Долгосрочный прогноз сроков осенних ледовых явлений (устойчивого ледообразования) с заблаговременностью 1–1,5 месяца (до 25–30 прогнозов).

Оценка качества разработки долгосрочных ледовых прогнозов за последний период с 2018 по 2022 год

Характерной чертой развития ледяного покрова Северного Ледовитого океана (СЛО), включая арктические моря России, в конце XX и начале XXI столетия является устойчивая тенденция к сокращению площади льдов как в зимний, так и в летний сезоны года.

Особенностью ледового режима российских арктических морей в текущем климатическом периоде является возможность возникновения локальных сложных ледовых условий на фоне общих легких условий. Это наглядно проявилось в осенний период 2021 года, когда при легких ледовых условиях в арктических морях в акватории СМП оказалось в «ледовом плену» более 20 судов различных ледовых классов.

Основными характеристиками ледяного покрова, прогнозируемыми для задач хозяйственной деятельности и навигации в акватории СМП, являются: даты взлома припая, площади ледяных массивов, даты устойчивого ледообразования, даты достижения льдом толщины 20–25 см и ожидаемый фон ледовых условий (ледовитость и площадь ледяных массивов). В табл. 1 приведены результаты оценки качества долгосрочных ледовых прогнозов по различным показателям ледового режима и различной заблаговременности.

Таблица 1

Оправдываемость по годам основных элементов ледового режима в долгосрочных ледовых прогнозах и их уточнениях за период 2018–2022 годов

Показатели ледового режима	Годы					Итого за 5 лет
	2018	2019	2020	2021	2022	
Прогнозы на 1-ю половину навигации (март).						
Заблаговременность 3–5 месяцев						
Ледовитость и площади массивов	73	70	70	73	73	73
Взлом припая	100	100	100	75	88	93
Фон ледовых условий	74	75	75	75	88	78
Итого мартовский прогноз	77	77	78	74	81	77
Июньское уточнение.						
Заблаговременность 1–2 месяца						
Ледовитость и площади массивов	79	71	79	79	79	77
Взлом припая	100	100	100	88	88	95
Фон ледовых условий	88	88	75	88	88	85
Итого июньское уточнение	87	83	84	83	83	84
Прогнозы на 2-ю половину навигации (август).						
Заблаговременность 1–3 месяца						
Ледовитость и площади массивов	93	87	93	87	73	87
Ледообразование	71	82	82	78	76	78
Достижение 20–25 см	73	87	80	87	80	83
Фон ледовых условий	100	100	100	86	71	91
Итого августовский прогноз	81	87	88	84	78	82
Сентябрьское уточнение.						
Заблаговременность 1–2 месяца						
Ледовитость и площади массивов	100	89	100	100	100	98
Ледообразование	71	82	82	78	76	78
Достижение 20–25 см	73	87	80	87	80	81
Фон ледовых условий	100	100	100	100	100	100
Итого сентябрьское уточнение	81	88	88	88	85	86
Итого	82	85	86	83	82	84

По результатам оценки установлено, что наименьшую оправдываемость 74–81 % имеют прогнозы, разработанные в марте на первую половину навигации и имеющие заблаговременность 3–5 месяцев. Средняя оценка оправдываемости мартовских долгосрочных прогнозов за пять лет составляет 77 %, а уточнение этих прогнозов, составляемое в июне, позволяет повысить оправдываемость до 84 %.

Августовский прогноз на вторую половину навигации имеет хорошую оправдываемость, которая в среднем за 5 лет составляет 82 %. Уточнение августовского ледового прогноза, составляемое в середине сентября, позволяет повысить оправдываемость до 86 %.

По показателям ледового режима наименьшую оправдываемость имеют прогнозы площадей ледяных массивов в мартовском (70–73 %) и сроков устойчивого ледообразования в августовском прогнозах (71–82 %). Прогнозы по другим показателям ледового режима имеют хорошую оправдываемость, составляющую 80–85 % и более, в соответствии с табл. 2.

Общая оправдываемость долгосрочных ледовых прогнозов за период с 2018 по 2022 год составляет 84 %, что является достаточно хорошим результатом.

Оправдываемость уточнений этих прогнозов, которые разрабатываются в июне с заблаговременностью 1–2 месяца, значительно выше и составляет 83–87 %. Уменьшение заблаговременности прогноза повышает его устойчивость и оправдываемостью на 5–10 %.

В период 2018–2020 годов оправдываемость прогнозов, разрабатываемых в августе (заблаговременностью 2–3 месяца), и их уточнений в сентябре (заблаговременностью 1–2 месяца) полностью совпадала и устойчиво превышала 80 %. Однако в 2021 и 2022 годах наблюдалось уменьшение оправдываемости августовских прогнозов до 78 %, при сохранении оправдываемости их уточнения в сентябре (на уровне 85–88 %). Для понимания возможных причин уменьшения оправдываемости необходимо обратиться к ходу развитию ледовых условий в эти годы. Именно в 2021–2022 годах в морях Восточно-Сибирском и Чукотском наблюдались существенные изменения ледовых условий в осенний сезон года. Вызвано это ухудшение было синхронными метеорологическими процессами, которые привели к такому редкому ледовому явлению, как «обвал тяжелых льдов» на трассу СМП. Такие резкие изменения ледовой обстановки трудно прогнозируются с заблаговременностью в 2–3 месяца, но могут быть спрогнозированы в уточнениях прогнозов, с заблаговременностью в 1–2 месяца. Именно такое редкое природное явление наблюдалось в 2021 и 2022 годах. В этой связи основной прогноз, разработанный в августе, оправдался хуже, чем его уточнение, разработанное в сентябре.

Межгодовая изменчивость успешности долгосрочных ледовых прогнозов

Обобщенный анализ за период с 2018 по 2022 год показывает, что средняя оправдываемость прогнозов в целом за сезон устойчиво превышает 80 % и составляет 82–86 %, а эффективность прогнозов, то есть разница в оправдываемости прогнозов по разработанным методикам по сравнению с прогнозом по норме, составляет 18–26 %.

Обращает на себя внимание уменьшение эффективности используемых методик долгосрочных ледовых прогнозов, наблюдаемое в 2022 году. В этом случае эффект увеличения оправдываемости прогнозов по норме

произошел в связи с переходом в 2022 году к новым нормам, которые стали рассчитываться за период 1991–2020 годов. Новые нормы за 30-летний ряд наблюдений с 1991 по 2020 год стали больше соответствовать происходящим в настоящее время изменениям ледовых условий в арктических морях. Это привело к увеличению оправдываемости климатического прогноза по норме и некоторому уменьшению эффективности используемых методик прогнозов.

Представляет интерес сравнение успешности долгосрочных ледовых прогнозов за более ранние периоды прогностической деятельности с текущими показателями. Сведений об оценке успешности долгосрочных ледовых прогнозов не очень много. В табл. 2 приведено сравнение оправдываемости долгосрочных ледовых прогнозов за период 1966–1970 годов с данными, полученными за период 2018–2022 годов.

Таблица 2

Сравнение оправдываемости долгосрочных ледовых прогнозов за различные периоды времени

Показатели ледового режима	Периоды лет		
	1966–1970	2018–2022	Изменения оправдываемости
Ледовитость и площади массивов	75 %	75 %	0 %
Сроки разрушения припая	86 %	94 %	8 %
Фон ледовых условий, положение ледяных массивов	78 %	84 %	6 %
Сроки ледообразования и нарастания льда	81 %	81 %	0 %
Общая оценка оправдываемости	80 %	84 %	4 %

Сравнительный анализ успешности долгосрочных ледовых прогнозов, составляемых в конце 1960-х и в начале 1970-х годов, с текущим положением дел показывает, что существенных успехов в прогнозировании и повышении оправдываемости прогнозов удалось добиться в прогнозах сроков разрушения припая (увеличение оправдываемости на 8 %) и прогнозах фоновых ледовых условий и положения ледяных массивов (увеличение оправдываемости на 6 %). Напротив, в прогнозах оперативности и площадей ледяных массивов на первую половину навигации, имеющих большую заблаговременность в 3–5 месяцев, и в прогнозах устойчивого ледообразования и нарастания льда особых успехов в прогнозировании нет.

Общая оправдываемость прогнозов в период 2018–2022 годов по сравнению с периодом 1970–1975 годов выросла в среднем на 4 % (с 80 до 84 %). Рост оказался не таким значительным, несмотря на увеличившиеся вычислительные возможности, значительно возросшую оперативность и объем исходной гидрометеорологической информации и появившуюся возможность глобального мониторинга состояния атмосферы и океана с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ).

В настоящее время мониторинг ледяного покрова в основном состоит из данных ИСЗ, которые, несмотря на большой охват и разрешающую способность, имеют ряд недостатков. Эти данные не позволяют оценивать толщину, торосистость, заснеженность, разрушенность и некоторые другие важные параметры ледяного покрова. В то же время регулярная сеть гидрометеорологических станций в Арктике существенно сократилась, значительно уменьшилась информация, поступающая от судов и ледоколов. Таким образом, ухудшение каче-

ства исходной информации является одной из причин отсутствия прогресса в успешности прогнозов по ряду показателей.

Заключение

По результатам анализа можно сделать основные выводы:

- долгосрочные ледовые прогнозы ААНИИ разрабатываются ежегодно по заданию Росгидромета 4 раза в год (март, июнь, август, сентябрь) и содержат прогнозы по 165 элементам ледового режима с заблаговременностью от 15 суток до 5 месяцев;

- долгосрочные ледовые прогнозы ААНИИ в целом имеют хорошую оправдываемость, в среднем составляющую около 84 %, и правильно ориентируют потребителя на предстоящее развитие ледовых условий в российских арктических морях, включая акваторию СМП;

- эффективность методов прогнозов, которая оценивается как превышение оправдываемости прогнозов по используемым методикам по сравнению с климатическим прогнозом, составляет 18–26 %;

- общая оправдываемость прогнозов в период 2018–2022 годов по сравнению с периодом 1966–1975 годов выросла на 4 %, увеличившись с 80 до 84 %. Можно констатировать, что существенного увеличения качества прогнозов не произошло, несмотря на возросшие вычислительные возможности и значительное увеличение исходной гидрометеорологической информации;

- для улучшения качества долгосрочных ледовых прогнозов необходимо предусмотреть меры по получению информации по состоянию ледяного покрова, которую пока невозможно получить средствами дистанционного зондирования из космоса;

- для улучшения качества долгосрочных ледовых прогнозов с заблаговременностью более трех месяцев целесообразно развивать физико-статистические модели с использованием более консервативных предикторов, включающих состояние океана и гелио-геофизические связи.

А.В. Юлин, Т.В. Шевелева (ААНИИ)

ДОСТОВЕРНОСТЬ КРАТКОСРОЧНЫХ И ДОЛГОСРОЧНЫХ ЛЕДОВЫХ ПРОГНОЗОВ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ МОРЕПЛАВАНИЯ И ДРУГИХ ВИДОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НА СМП В 2023 ГОДУ

За период с 1 января по 31 октября 2023 года в общей сложности было составлено 411 ледовых прогнозов по морям Северного морского пути (СМП) заблаговременностью от 1 до 5 суток.

Наиболее востребованным из морей является Карское (178 прогнозов), наименее — Чукотское (68 прогнозов). Чаще всего составлялись прогнозы общего распределения льда (280 прогнозов), реже всего — прогнозы торосистости (22 прогноза).

В табл. 1 представлены обобщенные оценки оправдываемости и эффективности прогнозов общей и частной сплоченности ледяного покрова по каждому из морей СМП за 10 месяцев 2023 года.

Данные, представленные в табл. 1, свидетельствуют, что в целом прогностическая модель эволюции ледяного покрова в 2023 году давала вполне удовлетворительные результаты. Средние оценки оправдываемости прогнозов варьировались в основном в пределах

92–96 % при устойчивой положительной эффективности порядка 1–3 %.

Также необходимо отметить, что сезонный ход достоверности ледовых прогнозов в 2023 году примерно соответствовал многолетнему «шаблону»: в период активных изменений ледовых условий оправдываемость прогнозов снижается до 91–92 %, а эффективность возрастает до 3–4 %. В периоды относительной стабильности ледовых условий оправдываемость возрастает до 95–97 %, а эффективность, наоборот, снижается до 1–1,5 %.

На рис. 1 показан межгодовой ход достоверности краткосрочных ледовых прогнозов за период с 2013 по 2023 год.

Как видно из рис. 1, за прошедшее десятилетие оправдываемость прогнозов в целом явно растет, тогда как рост эффективности выражен гораздо слабее и статистически не обеспечен.

Таблица 1

Обобщенные оценки оправдываемости и эффективности прогнозов (%) общей и частной сплоченности ледяного покрова по каждому из морей СМП в 2023 году

Море	Общая		Молодой		Однолетний тонкий		Однолетний средний		Однолетний толстый	
	Оправдываемость	Эффективность	Оправдываемость	Эффективность	Оправдываемость	Эффективность	Оправдываемость	Эффективность	Оправдываемость	Эффективность
Карское	96,4	1,7	91,0	1,1	93,2	2,0	93,6	1,4	98,4	0,9
Лаптевых	95,1	2,6	94,2	2,0	94,2	1,6	94,5	1,6	99,5	0,2
Восточно-Сибирское	94,2	3,4	90,2	3,8	95,4	3,0	98,2	3,9	99,1	0,4
Чукотское	94,8	2,5	93,7	2,4	95,6	2,1	96,1	2,5	97,5	1,4