

**МЕТОД ПРОГНОЗА СРОКОВ
ОКОНЧАТЕЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИПАЯ
В РАЙОНАХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ
ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ ДО ОДНОГО МЕСЯЦА**

1. Общая характеристика припая

Припай моря Лаптевых является наиболее развитым в арктических морях сибирского шельфа и уступает по площади только припаю Восточно-Сибирского моря, при этом его площадь в период наибольшего развития в меньшей степени подвержена влиянию межгодовых колебаний гидрометеорологических условий, чем в Восточно-Сибирском и Карском морях.

Большая часть припайного льда образуется в восточной части моря Лаптевых (к востоку от 125° в.д.), его площадь составляет около 70 % от общей площади припая в море. Ширина припая вдоль Североземельского архипелага и Таймырского побережья в среднем не превышает 50 км. Около 85 % припая западной части моря (к западу от 125° в.д.) формируется вдоль южного побережья моря. Таким образом, в южной и юго-восточной части моря формируется более 90 % площади припая моря Лаптевых, что в среднем составляет около 200 тыс. км². Средняя и экстремальные границы припая в этом регионе моря представлены на рис. 1. Все межгодовые изменения в положениях границ припая в южной и восточной частях моря происходят в пределах 30-метровой изобаты.

2. Характеристика припая в период разрушения

Разрушению припая предшествует прекращение нарастания толщины льда и последующее за этим таяние ледяного покрова. За критерий сроков начала таяния ледяного покрова принимается время появления на поверхности ледяного покрова снежиц (0–1 балл по принятой 5-балльной шкале разрушенности). Благодаря радиационному теплу таяние льда начинается до перехода температуры воздуха через 0 °С к положительным значениям, поэтому первые признаки таяния появляются в среднем при устойчивом достижении

температурой воздуха отрицательных значений в пределах $-1,0 - -1,5$ °С, что наблюдается в первой декаде июня.

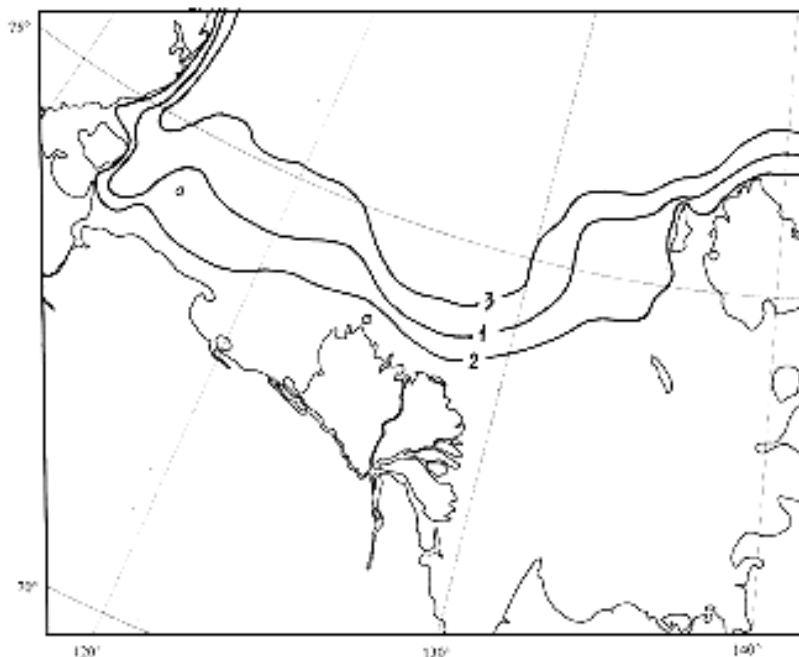


Рис. 1. Положение средней (1), минимальной (2) и максимальной (3) границ распространения припая в южной и восточной частях моря Лаптевых в период его максимального сезонного развития по данным ИСЗ.

Под воздействием тепловых и динамических факторов (ветер, приливоотливные колебания уровня) происходит взлом припая и его распадение на большие поля. Взлом припая начинается, как правило, при разрушенности ледяного покрова в 3–4 балла. Тепловые факторы приводят к уменьшению толщины припайного льда и ослабляют его прочность. Динамические факторы ускоряют разлом припая, и чем сильнее это воздействие, тем при большей толщине льда происходит разрушение припая. Окончательное разрушение припая чаще всего наблюдается при скорости ветра более 10 м/с, наиболее благоприятными направлениями ветра при этом являются отжимные. Дата, когда припай на всей видимой акватории моря взламывается, является датой окончательного взлома припая. При этом подошва припая во внимание не принимается.

Многолетний разброс сроков разрушения припая в районах моря Лаптевых колеблется в пределах 1–1,5 месяца.

На рис. 2 представлено среднее положение границ припая в период его разрушения (изохроны).

Частичный взлом припая в южной и восточной частях моря Лаптевых может произойти в начале июня. Окончательное разрушение припая происходит достаточно медленно вследствие морфометрических и ледовых особенностей юго-восточной части моря Лаптевых. Этот район характеризуется мелководьем, наличием банок, кроме того, в период

формирования припая на его границе образуются стамухи, которые с течением времени оказываются включенными внутрь припая и служат своеобразными якорями, удерживающими даже сильно разрушенные припай. В период проведения визуальных ледовых авиаразведок неоднократно наблюдался припай разрушенностью до 4 баллов (иногда до 5 баллов), который не распадался на отдельные поля. Окончательное разрушение такого припая происходило в течение 1–2 дней после выхода глубоких циклонов на акваторию моря и усилением ветра до 10–15 м/с.

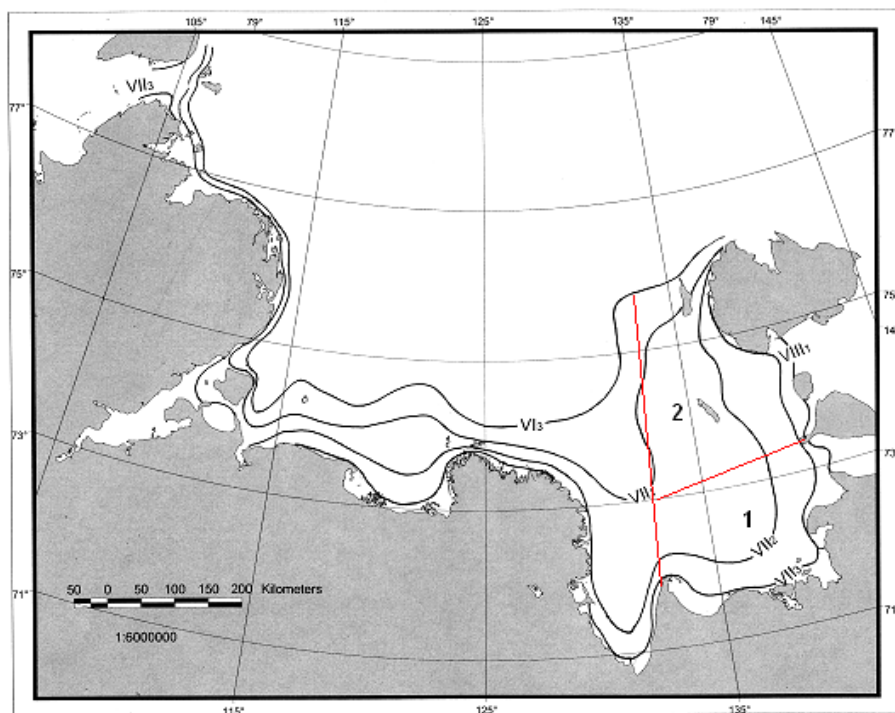


Рис. 2. Изохроны средних сроков разрушения припая в море Лаптевых по данным ИСЗ за 1980–2011 гг. Выделены районы подходов к проливам Дм. Лаптева (1), Санникова (2).

3. Разработка метода прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах моря Лаптевых

Во всех известных способах прогноза сроков окончательного разрушения припая на физико-статистической основе [1, 2] в качестве предикторов используются различные гидрометеорологические характеристики, прямо или косвенно учитывающие влияние непосредственных факторов, обуславливающих разрушение припая.

Следует заметить, что в связи со значительным уменьшением (почти вдвое) сети полярных станций (береговых и островных) и сокращением наблюдательных программ на действующих станциях ощущается недостаток данных, необходимых для разработки

методов прогнозов. В значительных по протяженности припайных районах отсутствуют данные по температуре воздуха, толщине льда и скорости его таяния. В частности, прекратили существование все полярные станции в западной части моря Лаптевых.

С переходом на спутниковые данные утрачены наблюдения за такими характеристиками ледяного покрова, как торосистость, появление снежниц (характеризующих начало таяния льда), разрушенность, которые определялись в период визуальных ледовых авиационных разведок и использовались в качестве предикторов при прогнозах разрушения припая.

При регулярных в весенне-летний период визуальных авиационных наблюдениях (не реже чем через трое суток) срок разрушения припая (распад его на отдельные ледяные поля) в каком-либо районе открытой или прибрежной части моря определялся достаточно надежно. В настоящее время, когда ледовая карта на основе данных ИСЗ строится один раз в 7 суток, возникает неопределенность в определении сроков разрушения припая в районах моря.

В отсутствии утраченных характеристик состояния припайного льда в период таяния для прогноза сроков разрушения припая были предприняты попытки использовать в качестве предикторов данные о площади припая, его ширине на створах, о площади заприпайных полыней, полученные по данным ИСЗ, а также сведения о толщине льда на полярных станциях. Однако для взлома припая в море Лаптевых не все эти показатели оказались информативными.

Из всех гидрометеорологических характеристик наиболее значимой в качестве предиктора для прогноза сроков разрушения припая является температура воздуха. Сроки начала таяния, как уже упоминалось, близки к дате перехода температуры воздуха через значения $-1 - -1,5$ °С, которая в среднем наступает в первой декаде июня. Поэтому средняя июньская температура воздуха, а иногда и майская, оказались наиболее эффективными для прогноза сроков разрушения припая.

Наиболее важными в навигационном отношении на трассе Северного морского пути на участке моря Лаптевых являются районы подходов к проливам Дм. Лаптева и Санникова. Поэтому совершенствование метода прогноза сроков окончательного разрушения припая было сосредоточено для этих двух районов (рис. 2). Тем более что восточная часть моря в большей степени, чем западная, освещена данными наблюдений на полярных станциях.

3.1. Регрессионные методы

Для разработки метода использовались данные о сроках окончательного разрушения припая в районах подходов к проливам Дм. Лаптева и Санникова (рис. 2) за период 1980–2007

гг., охватывающий период регулярных наблюдений за развитием припая в арктических морях по данным ИСЗ. Характеристика этих данных представлена в табл. 1. Данные за период 2008–2011 гг. использованы для проверки метода на независимом материале.

Таблица 1

Статистические характеристики сроков окончательного взлома припая в районах подходов к проливам Дм. Лаптева (1) и Санникова (2) за период 1980–2007 гг.

Статистические характеристики сроков окончательного взлома припая	Район подходов к проливу Дм. Лаптева (1)	Район подходов к проливу Санникова (2)
Средние	16.07	20.07
Ранние	2.07	28.06
Поздние	15.08	15.08
Размах колебаний, сутки	45	48
σ , сутки	8,3	9,2
$0,8\sigma$, сутки	6,6	7,4
$0,674\sigma$, сутки	5,6	6,2

Использование температуры воздуха в качестве предиктора

Как уже упоминалось, наиболее значимой в качестве предиктора для прогноза сроков разрушения припая является температура воздуха. Действительно, связь сроков окончательного взлома припая, вычисленного по средней температуре июня на станциях «Тикси» и «Кигилях», со сроками взлома припая в районе на подходах к проливу Дм. Лаптева оценивается коэффициентом корреляции, равным $-0,73$. Таким же по значению коэффициентом корреляции оценивается связь сроков взлома припая в районе на подходах к проливу Санникова со сроками взлома припая, вычисленного по средней температуре станций «Кигилях» и «Котельный». Прогностические уравнения, построенные на основании этих связей, представлены в табл. 2. Эффективность этих уравнений составляет 16 и 13 % для первого и второго районов соответственно.

Таблица 2

Прогностические уравнения сроков взлома припая в районах подходов к проливам Дм. Лаптева (1) и Санникова (2) с использованием средней за июнь температуры воздуха на полярных станциях и их оценка

Район	Станции	Ряд, гг.	Расчетные уравнения	Обеспеченность, %		Эффект., %
				метод.	природ.	
1	Тикси-Кигилях	1980–2007	$D = 25,0 - 4,9T_{VI}$	85	69	16
2	Кигилях-Котельный	1980–2007	$D = 21,9 - 5,7T_{VI}$	78	65	13

Разработка прогностических уравнений с учетом температуры воздуха, площади припая и полыней в районе на подходах к проливу Санникова

Для разработки прогностического уравнения, помимо средней за июнь температуры воздуха, была предпринята попытка использовать в качестве предикторов площадь припая в восточной части моря Лаптевых (к востоку от 125° в.д.) за третью декаду июня и суммарную площадь Анабаро-Ленской и Западной Новосибирской полыней (рис. 3), а также за третью декаду июня. Попытка оказалась удачной для района подходов к проливу Санникова.



Рис. 3. Положение полыней в восточной части моря Лаптевых.

Уравнение для прогноза сроков (D) окончательного взлома припая на подходах к проливу Санникова с использованием предикторов табл. 3 имеет вид:

$$D = -5,29T + 0,19S - 0,004P - 2,20 \quad (D - \text{количество суток относительно даты 30.VI}).$$

Таблица 3

Характеристики предикторов для прогноза сроков окончательного взлома припая в районе подхода к проливу Санникова

Предикторы	Характеристики			Парные коэф. кор.
	средние	максим.	миним.	
Температура воздуха за июнь на п/с Кигилях (Т, °С)	0,3	2,8	-2,9	-0,71
Площадь припая в восточной части моря Лаптевых в третьей декаде июня (S, тыс. км ²)	135,38	155,04	53,52	0,54
Суммарная площадь полыней в третьей декаде июня (P, тыс. км ²)	67,50	216,10	5,85	-0,59

Из сравнения данных табл. 2 и табл. 4 видно, что эффективность прогностического уравнения с использованием в качестве предикторов температуры, площадей припая и полыней при критерии $0,8\sigma$ на 8 % превышает эффективность прогностического уравнения с использованием только температуры воздуха.

Таблица 4

Оценка прогностического уравнения для сроков окончательного взлома припая на подходах к проливу Санникова за период 1980-2007 гг.

Уравнение	Критерий		Обеспеченность, %		Эффект., %
			метод.	природ.	
$D = -5,29T + 0,19S - 0,004P - 2,20$	$0,8\sigma$	7,4 сут	86	65	21
	$0,674\sigma$	6,2 сут	68	57	11

Анабаро-Ленская и Западная Новосибирская полыньи по существующей классификации относятся к постоянным (их сезонная повторяемость превышает 75 %). Физический смысл влияния полыней и площади припая на район подходов к проливу Санникова заключается в том, что в конце мая прекращаются процессы ледообразования, и полыньи становятся аккумуляторами тепла, что в свою очередь способствует разрушению припая в его прикромочной зоне.

Разрушение припая в северной части восточного района моря Лаптевых, где расположен район подходов к проливу Санникова, более подвержено влиянию динамических процессов, чем район подходов к проливу Дм. Лаптева. Район на подходах к проливу Дм. Лаптева расположен в глубине мелководного Янского залива, где припай удерживается банками и стамухами, и на него не оказывают влияние процессы, происходящие в полыньях.

4. Использование автоматизированной программы «Пегас» для прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах моря Лаптевых

Автоматическая программа «Пегас» использовалась для прогноза сроков окончательного взлома припая в Восточно-Сибирском море [3]. Программа позволяет определить информативность как точечных измерений (например, данные одной полярной станции), так и полей элементов, представленных в узлах сеточной области. При исследовании информативности полей предусмотрена процедура перехода от значений элемента в узлах сеточной области к разности значений между узлами [4, 5].

Обязательным компонентом программы «Пегас» является информационная система, включающая пополняемые архивы ледовой и гидрометеорологической информации.

Наиболее удобной формой представления последней являются поля атмосферного давления, температуры воды и воздуха, заданные в узлах сеточной области (или в отдельных точках).

Программа позволяет оценивать статистическую связь коэффициентами корреляции по заданному критерию (не менее 0,4), игнорировать или учитывать предиктор, выбирать наиболее значимые предикторы; на основе элементарного дискриминантного анализа проводить обобщение всей информации и рассчитывать обобщенный показатель.

Обобщенный показатель P представляет собой сумму коэффициентов влияния K :

$$P = \sum K_i,$$

где $K = U \cdot r^2$; U – расчетное значение функции по уравнению регрессии; r^2 – квадрат частного коэффициента корреляции.

Аналогично получают обобщенные показатели для нескольких полей. В этом случае суммируются коэффициенты влияния характеристик всех анализируемых полей. Окончательное прогностическое уравнение имеет вид:

$$U = a \sum_1^n P + b,$$

где n – число учитываемых информационных полей.

Для учета атмосферного давления используется сеточная область, приведенная на рис. 4.

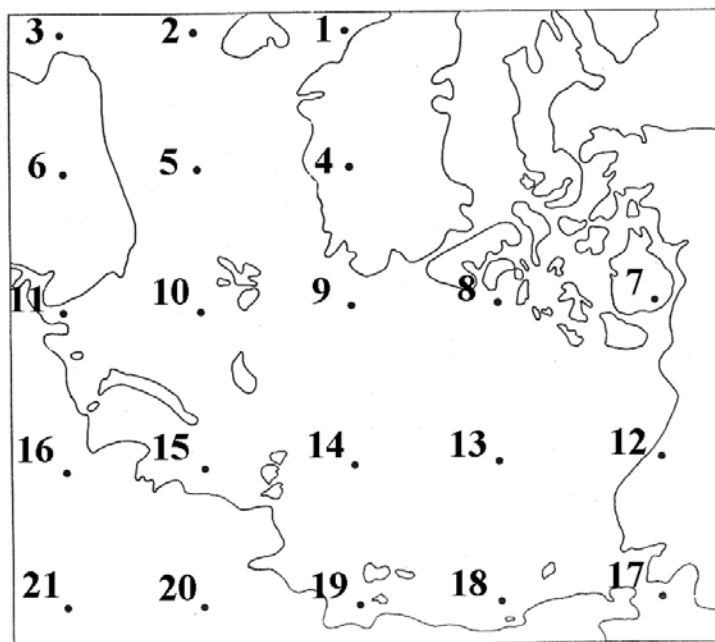


Рис. 4. Схема положения центров сеточной области для учета атмосферного давления.

Программа «Пегас» находит наиболее информативные створы для расчета разностей атмосферного давления (для учета воздушных переносов), влияющие на дату разрушения

припая.

Для нахождения информативных показателей и построения прогностических уравнений сроков взлома припая в районах моря Лаптевых были использованы ряды сроков взлома припая, поля среднемесячного приземного атмосферного давления с января по июнь и ряды среднемесячной температуры воздуха за апрель–июнь по близлежащим полярным станциям. Для восточной части моря Лаптевых использовались данные по температуре полярных станций «Котельный», «Кигилях», «Тикси» за период 1980–2011 гг.

Результаты корреляционного анализа сроков взлома припая с различными показателями барического поля и температурой воздуха на полярных станциях сведены в табл. 5 и 6 для каждого из припайных районов.

В результате преобразования информативных показателей программа рассчитывает коэффициенты (А и В) и обобщенный показатель Р для результирующих корреляционных уравнений для каждого из районов и производит расчет по этим уравнениям для каждого года анализируемого ряда сроков взлома припая. Расчеты для районов 1 и 2 приведены в табл. 7 и 8 соответственно.

Таблицы содержат коэффициенты корреляции результирующего прогностического уравнения (R), квадрат коэффициента корреляции (R^2), характеризующий степень учета уравнением изменчивости сроков взлома припая и обеспеченность расчетного уравнения. В таблицах в рамках выделены ошибочные расчеты (превышающие $\pm 0,8\sigma$), серым цветом выделен период испытаний метода.

Таблица 5

Коэффициенты корреляции сроков взлома припая в районе 1 (подходы к проливу Дм. Лаптева) с показателями атмосферного давления и температурой воздуха

Предикторы	Месяц	Информативные створы, станция	Коэффициенты корреляции
Давление	Январь	6–15	0,48
	Февраль	10–15	0,36
	Март	21	–0,46
	Апрель	5–6	0,35
	Май	13–14	–0,38
	Июнь	12–19	0,43
Площадь припая	Май	Средняя	0,2
	Июнь	Средняя	0,3
Температура воздуха	Май	Котельный	–0,43
	Июнь	Котельный	–0,66
	Май	Тикси	–0,40
	Июнь	Тикси	–0,55
	Май	Кигилях	0,48
	Июнь	Кигилях	0,73

Коэффициенты корреляции сроков взлома припаяв в районе 2 (подходы к проливу Санникова) с показателями атмосферного давления и температурой воздуха

Предикторы	Месяц	Информативные створы, станция	Коэффициенты корреляции
Давление	Январь	6–15	0,48
	Февраль	10–15	0,36
	Март	21	–0,46
	Апрель	5–6	0,35
	Май	13–14	–0,38
	Июнь	12–19	0,43
Площадь припая	Май	Средняя	0,3
	Июнь	Средняя	0,1
Температура воздуха	Май	Котельный	–0,35
	Июнь	Котельный	–0,64
	Май	Тикси	–0,50
	Июнь	Тикси	–0,67
	Май	Кигилях	–0,41
	Июнь	Кигилях	–0,66

Уравнения для прогноза сроков окончательного взлома припая в районах на подходах к проливам Дм. Лаптева и Санникова приведены в табл. 9. Как видно из таблицы, обеспеченность метода для района 1 составляет 84 % (эффективность – 18 %); для района 2 – 91 % (эффективность – 22 %).

Таблица 9

Расчетные уравнения для прогноза сроков взлома припая в районе 1 на подходах к проливу Дм. Лаптева и районе 2 на подходах к проливу Санникова

Район	Расчетные уравнения	Обеспеченность, %		Эффективность, %
		метода	природн.	
1	$D = 13,972 \cdot P - 29,534$	84	66	18
2	$D = 10,006 \cdot P - 29,402$	91	69	22

5. Результаты испытаний метода прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах моря Лаптевых заблаговременностью до одного месяца

Испытания усовершенствованного метода прогноза сроков окончательного разрушения припая в районах моря Лаптевых заблаговременностью до одного месяца проводились в отделе ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ» в период 2009–2011 гг. Методика прогноза основана на физико-статистическом подходе, при котором статистическая связь между предиктантом и предикторами обосновывается физически.

Прогнозы для районов на подходах к проливам Дм. Лаптева и Санникова разработаны двумя способами:

- на основе уравнений множественной регрессии с разным количеством предикторов;
- с использованием автоматической информационной программы «Пегас», которая подбирает наиболее информативные предикторы по мере накопления архива данных.

Результаты испытаний за период 2007–2011 гг. представлены в табл. 10–14. Для оценки средней эффективности прогнозов сравнивалась оправдываемость прогнозов по методу и по норме.

Прогнозы сроков окончательного разрушения припая в районе на подходах к проливу Дм. Лаптева основываются только на температуре полярных станций в районе (табл. 10). В среднем за пять лет оправдываемость прогнозов составила 60 %, что совпадает с оправдываемостью прогнозов по норме за эти же годы.

Таблица 10

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Дм. Лаптева

Год	Расчетное уравнение	Прогноз	Факт.	Ошибка прогноза по методу, сутки	Оправд. прогноза по методу, %	Ошибка прогноза по норме, сутки	Оправд. прогноза по норме, %
2007	$D = 25,0 - 4,9T_{VI}$ Норма 16VII 0,8σ=6,6 суток	10VII	10VII	0	100	6	100
2008		13VII	13VII	0	100	3	100
2009		11VII	23VII	-12	0	-7	0
2010		5VII	8VII	-3	100	8	0
2011		16VII	5VII	11	0	0	100
Средняя оправдываемость					60		60
Средняя эффективность							0

Расчетные уравнения для прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Санникова разработаны с двух позиций: только с использованием в качестве предиктора температуры воздуха полярных станций в районе (табл. 11) и с учетом в качестве предикторов площадей припая и полыней в восточной части моря Лаптевых (табл. 12). И хотя прогнозы по температуре воздуха вполне удовлетворительны, их эффективность составила 40 % при оправдываемости 80 %, предпочтительнее метод, учитывающий, кроме температуры воздуха, состояние припая и полыней. Оправдываемость прогнозов по этому методу за период 2007–2011 гг. составила 100 %, эффективность – 60 % (табл. 12).

Таблица 11

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Санникова по температуре воздуха

Год	Расчетное уравнение	Прогноз	Факт.	Ошибка прогноза по методу, сутки	Оправд. прогноза по методу, %	Ошибка прогноза по норме, сутки	Оправд. прогноза по норме, %
2007	$D = 21,9 - 5,7T_{VI}$ Норма 20VII 0,8σ=7,4 суток	18VII	28VI	20	0	22	0
2008		23VII	16VII	7	100	4	100
2009		19VII	23VII	-4	100	-3	100
2010		12VII	9VII	3	100	11	0
2011		16VII	10VII	6	100	10	0
Средняя оправдываемость					80		40
Средняя эффективность							40

Таблица 12

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Санникова по температуре воздуха, площадям припая и полыней

Год	Расчетное уравнение	Прогноз	Факт.	Ошибка прогноза по методу, сутки	Оправд. прогноза по методу, %	Ошибка прогноза по норме, сутки	Оправд. прогноза по норме, %
2007	$D = -5,29T + 0,19S - 0,004P - 2,20$ Норма 20VII 0,8σ=7,4 суток	2VII	28VI	4	100	22	0
2008		20VII	16VII	4	100	4	100
2009		21VII	23VII	-2	100	-3	100
2010		10VII	9VII	1	100	11	0
2011		8VII	10VII	-2	100	10	0
Средняя оправдываемость					100		40
Средняя эффективность							60

В табл. 13 и 14 приведены результаты оценки прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районах на подходах к проливам Дм. Лаптева и Санникова, разработанных с помощью информационной программы «Пегас». Наиболее удовлетворительные результаты получены для района 1 (табл. 13). По району 2 из пяти прогнозов не оправдались два. Тем не менее эффективность прогнозов превышает прогнозы по норме и составляет 20 %.

Как показывают результаты испытания метода, разработанные физико-статистические модели позволяют достаточно надежно прогнозировать сроки окончательного разрушения припая в районах на подходах к проливам Дм. Лаптева и Санникова. Метод характеризуется

более высокой эффективностью, по сравнению с прогнозами по норме, и может быть использован в оперативной практике.

Таблица 13

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Санникова по температуре воздуха, площадей припая и полыней

Год	Расчетное уравнение	Прогноз	Факт.	Ошибка прогноза по методу, сутки	Оправд. прогноза по методу, %	Ошибка прогноза по норме, сутки	Оправд. прогноза по норме, %
2007	D = 13,972P – 29,534	13 VII	10VII	3	100	6	100
2008		15 VII	13VII	2	100	3	100
2009	Норма 16VII 0,8σ=6,6 суток	15 VII	23VII	-8	0	-7	0
2010		10 VII	8VII	2	100	8	0
2011		14 VII	10VII	4	100	6	100
Средняя оправдываемость					80		60
Средняя эффективность							20

Таблица 14

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая в районе подходов к проливу Санникова по программе «Пегас»

Год	Расчетное уравнение	Прогноз	Факт.	Ошибка прогноза по методу, сутки	Оправд. прогноза по методу, %	Ошибка прогноза по норме, сутки	Оправд. прогноза по норме, %
2007	D = 10,006P – 29,402	21VII	28VI	23	0	22	0
2008		19VII	16VII	3	100	4	100
2009	Норма 20VII 0,8σ=7,4 суток	19VII	23VII	-4	100	-3	100
2010		8VII	9VII	-1	100	11	0
2011		18VII	10VII	8	0	10	0
Средняя оправдываемость					60		40
Средняя эффективность							20

Выводы

ЦМКП Росгидромета на заседании от 27 марта 2012 г. рекомендовала ФГБУ «АНИИ»:

– учесть высказанные на ЦМКП замечания (при подготовке июньского долгосрочного прогноза не использовать июньские предикторы);

– рекомендовать ФГБУ «АНИИ» внедрить метод в оперативную практику ФГБУ «АНИИ» в качестве основного.

Список литературы

1. Горбунов Ю.А., Карелин И.Д., Кузнецов И.М., Лосев С.М., Соколов А.Л. Основы физико-статистических методов ледовых прогнозов и расчетов для арктических морей заблаговременностью до 30 суток. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 288 с.
2. Гудкович З.М., Кириллов А.А., Ковалев Е.Г., Сметанникова А.В., Спичкин В.А. Основы методики долгосрочных ледовых прогнозов для арктических морей. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 348 с.
3. Карклин В.П., Карелин И.Д., Юлин А.В. Метод прогноза сроков окончательного разрушения припая в Восточно-Сибирском море заблаговременностью до одного месяца // Информационный сборник № 38. – 2011. – С. 88–103.
4. Ковалев Е.Г., Николаев Ю.В. Применение дискриминантного анализа для долгосрочного прогноза ледовитости арктических морей // Труды ААНИИ. – 1976. – Т. 320. – С. 4–26.
5. Ковалев Е.Г., Юлин А.В. Автоматизированная прогностическая система для целей научно-оперативного обеспечения навигации в Арктике // Труды ААНИИ. – 1998. – Т. 438. – С. 73–82.

Таблица 7

Расчет сроков окончательного разрушения припая в районе 1 на подходах к проливу Дм.

Лаптева (сутки от 30 июня)

ГОДЫ	P	B	A	R	R ²	Фактич	Расчет	Ошибка
1980	3.428	-29.534	13.972	.819	.670	18.000	18.358	- .358
1981	3.244					12.000	15.797	-3.797
1982	3.725					21.000	22.509	-1.509
1983	3.245					18.000	15.807	2.193
1984	3.482					19.000	19.123	-.123
1985	3.665					15.000	21.671	-6.671
1986	3.317					15.000	16.815	-1.815
1987	3.553					24.000	20.108	3.892
1988	3.303					12.000	16.623	-4.623
1989	3.391					12.000	17.848	-5.848
1990	1.952					2.000	-2.259	4.259
1991	3.597					16.000	20.726	-4.726
1992	3.610					23.000	20.909	2.091
1993	2.931					12.000	11.425	.575
1994	2.993					14.000	12.282	1.718
1995	3.073					10.000	13.401	-3.401
1996	4.829					46.000	37.945	8.055
1997	3.673					30.000	21.783	8.217
1998	3.465					27.000	18.885	8.115
1999	2.783					7.000	9.345	-2.345
2000	3.503					16.000	19.408	-3.408
2001	3.660					19.000	21.611	-2.611
2002	2.809					16.000	9.713	6.287
2003	3.321					12.000	16.871	-4.871
2004	3.518					16.000	19.617	-3.617
2005	2.414					9.000	4.196	4.804
2006	2.929					3.000	11.387	-8.387
2007	3.069					10.000	13.354	-3.354
2008	3.207					13.000	15.278	-2.278
2009	3.158					23.000	14.594	8.406
2010	2.821					8.000	9.879	-1.879
2011	3.115					15.000	13.994	2.006

Таблица 8

**Расчет сроков окончательного разрушения припая в районе на подходах к проливу Санникова
(сутки от 30 июня)**

ГОДЫ	P	B	A	R	R^2	Фактич	Расчет	Ошибка
1980	5.475	-29.402	10.006	.858	.736	26.000	25.380	.620
1981	4.921					18.000	19.833	-1.833
1982	5.985					27.000	30.485	-3.485
1983	5.562					27.000	26.251	.749
1984	5.601					25.000	26.635	-1.635
1985	5.749					25.000	28.120	-3.120
1986	5.208					17.000	22.702	-5.702
1987	5.367					28.000	24.297	3.703
1988	4.993					16.000	20.556	-4.556
1989	5.630					24.000	26.928	-2.928
1990	3.521					7.000	5.823	1.177
1991	5.489					17.000	25.522	-8.522
1992	5.936					34.000	29.987	4.013
1993	4.581					16.000	16.437	-.437
1994	5.197					22.000	22.597	-.597
1995	5.067					17.000	21.292	-4.292
1996	6.962					46.000	40.259	5.741
1997	5.387					32.000	24.502	7.498
1998	5.227					30.000	22.896	7.104
1999	4.711					18.000	17.731	.269
2000	5.174					21.000	22.365	-1.365
2001	5.776					25.000	28.389	-3.389
2002	4.578					19.000	16.406	2.594
2003	4.820					13.000	18.821	-5.821
2004	5.102					23.000	21.646	1.354
2005	3.639					9.000	7.008	1.992
2006	4.587					13.000	16.492	-3.492
2007	5.035					-3.000	20.973	23.027
2008	4.817					16.000	18.797	-2.797
2009	4.871					23.000	19.338	4.662
2010	3.791					9.000	8.528	.472
2011	4.738					10.000	18.006	-8.006