

МЕТОД ПРОГНОЗА СРОКОВ ОКОНЧАТЕЛЬНОГО РАЗРУШЕНИЯ ПРИПАЯ ЗАБЛАГОВРЕМЕННОСТЬЮ 15–30 СУТОК В РАЙОНАХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

Метод прогноза разработан в 2007 году согласно плану тематической работы. Метод физико-статистический, при его разработке использована автоматическая информационная программа с условным названием «Пегас», ранее успешно использованная для прогнозов сроков разрушения припая в Восточно-Сибирском море [1]. Метод базируется на данных искусственных спутников Земли (ИСЗ), обзорных и региональных ледовых картах ФГБУ «ААНИИ» и наблюдениях полярных станций. Припайная зона чукотского побережья разделена на три района, отличающихся некоторыми режимными особенностями в период формирования и разрушения припая. Метод разрушения припая разработан для каждого района.

Характеристика припая в период нарастания

Мониторинг за состоянием припая в период его формирования и разрушения производится с использованием ледовых карт, которые строятся в ФГБУ «ААНИИ» по данным ИСЗ с дискретностью 7–10 суток. При необходимости используются непосредственно спутниковые снимки. По ледовым картам еженедельно определяются площади припая в границах районов арктических морей и ширина припая на створах. Схема створов для чукотского побережья представлена на рис. 1.

Из-за глубоководности прибрежной зоны припай в юго-западной части Чукотского моря не достигает большого развития. Его становление в среднем приходится на конец октября – начало ноября. Позже всего припай образуется у крайнего восточного побережья Чукотки. Приращение ширины припая на створах характеризует развитие припая в период его формирования (рис. 2). Как можно видеть на рис. 2, наиболее интенсивно припай нарастает в период с ноября по январь. К февралю продвижение границы припая в мористые районы замедляется, и в марте-апреле припай у чукотского побережья достигает максимального развития.

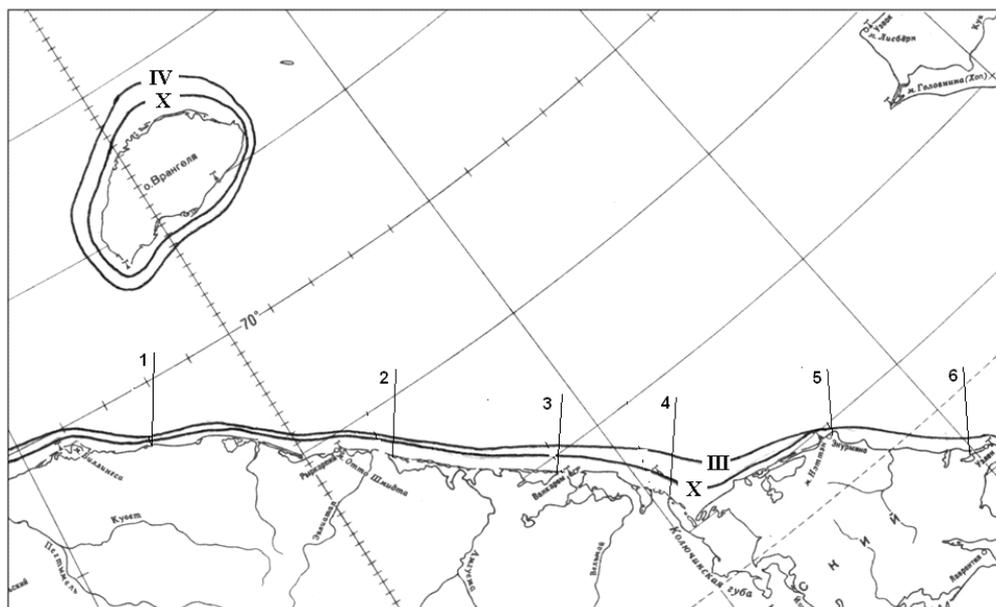


Рис. 1. Среднее положение границ припая в период его нарастания в юго-западной части Чукотского моря по данным ИСЗ за период 1980–2011 гг. и положение створов.

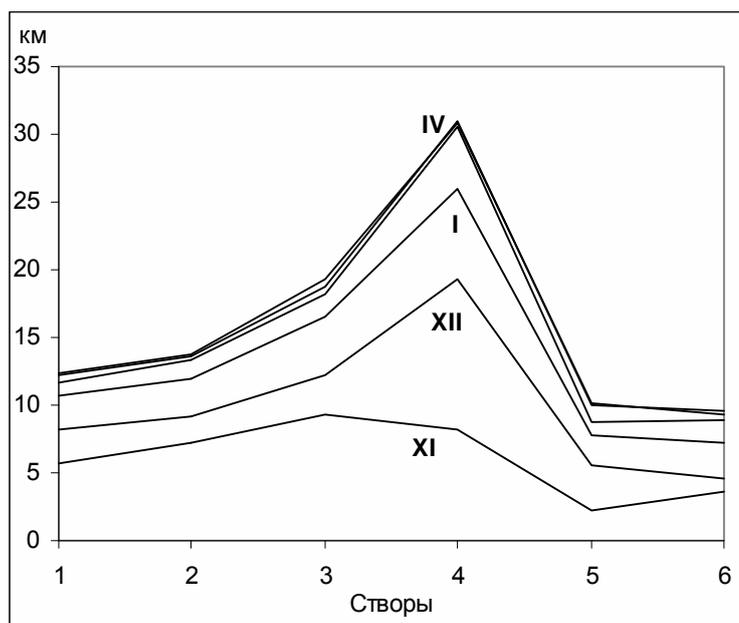


Рис. 2. Изменения средней ширины припая, км, на створах у чукотского побережья в период формирования припая (римские цифры на рисунке – месяцы).

В марте ширина припая составляет в среднем около 12 км у мыса Шмидта и может изменяться в пределах 5–20 км. Далее на восток, в районе Колочинской губы, средняя ширина припая увеличивается до 30 км, где в некоторые годы может достигать 70 км. Восточнее средняя ширина припая уменьшается до 10 км.

Площадь припая у чукотского побережья, достигнув в начале ноября около 7 тыс. км², медленно увеличивается и в марте составляет около 11 тыс. км², сохраняясь в этих размерах до начала разрушения.

В годы, благоприятные для развития припая, его площадь более чем вдвое превышает среднюю величину (табл. 1).

Таблица 1

Средние и экстремальные площади припая в период нарастания в юго-западной части Чукотского моря в середине месяца по данным ИСЗ за период 1980–2003 гг., тыс. км²

Характеристика площади	Месяцы							
	X	XI	XII	I	II	III	IV	V
Средняя	5,7	7,3	7,6	9,8	10,6	10,9	10,9	10,9
Максимальная	8,8	14,3	15,5	17,2	18,7	23,4	23,4	23,4
Минимальная	2,3	2,5	2,0	4,7	5,1	5,1	5,1	5,1

В среднем площадь чукотского припая в конце периода развития составляет 6 % от площади юго-западной части моря. В годы максимального развития припай может занимать 13 % площади моря, а в годы наименьшего развития всего 3 %.

Характеристика припая в период разрушения

Начало разрушения припая в юго-западной части Чукотского моря начинается в южной части моря во второй декаде мая, когда под влиянием беринговоморских вод происходит раннее очищение моря. В среднем в крайнем восточном районе чукотского побережья припай разрушается в середине июня, в западных районах – в начале июля. Исключение составляет Колючинская губа, где в отдельные годы припай может сохраняться до середины июля.

На рис. 3 схематично показано изменения положения границ припая у чукотского побережья по данным о ширине припая на створах.

Анализ многолетних наблюдений за разрушением припая у чукотского побережья позволил выделить три района, отличающихся характером и сроками его разрушения: район I – участок мыс Якан – мыс Ванкарем, район II – мыс Ванкарем – о.Колючин, район III – мыс Сердце Камень – Уэлен. На рис. 3 также можно выделить эти районы: район I – между створами 1-3, район II – между створами 3–5 и район III – между створами 5–6, различающиеся по скорости смещения границ в период разрушения.

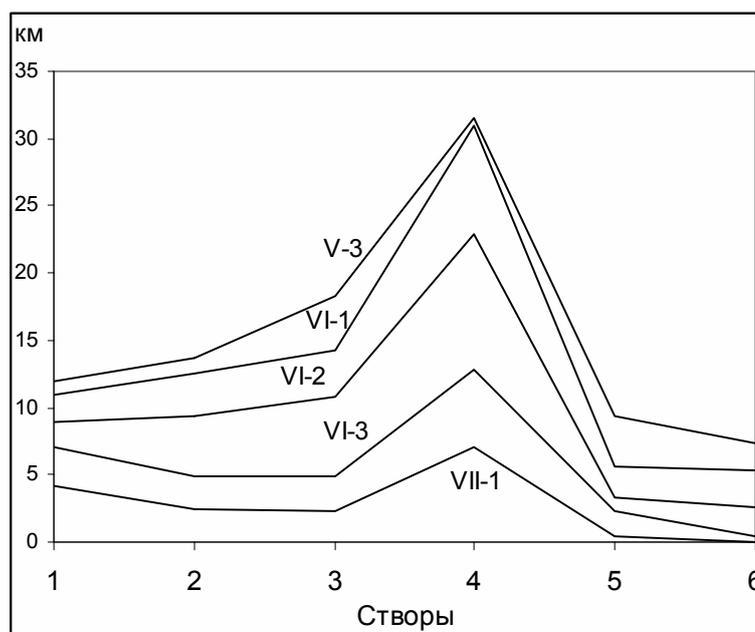


Рис. 3. Изменения средней ширины припая, км, на створах у чукотского побережья в период разрушения припая (цифры на графиках означают месяц-декаду).

Как видно из табл. 2, многолетний размах сроков окончательного разрушения припая у чукотского побережья составляет от полутора до двух месяцев. Поэтому критерии для методической и прогностической оценки в долях среднего квадратического отклонения (σ) также значительны – 9–12 суток.

Таблица 2

Сроки окончательного разрушения припая в районах чукотского побережья и их статистические характеристики за период 1980-2012 гг.

Характеристики сроков	Районы		
	I	II	III
Средние	3.07	1.07	17.06
Поздние	27.07	27.07	15.07
Ранние	6.06	15.06	16.05
σ , сутки	15	13	13
$0,674\sigma$, сутки	10	8.8	8,8
$0,8\sigma$, сутки	11,8	10,5	10,4

Разработка метода прогноза

Как уже упоминалось, для разработки метода прогноза сроков окончательного разрушения припая у чукотского побережья использована автоматическая информационная программа «Пегас», позволяющая осуществлять выбор наиболее информативных

предикторов, как из рядов точечных измерений (данных полярных станций), так и из полей элементов (давления, температуры), представленных в узлах сеточной области.

Из стандартных процедур программа позволяет оценивать коэффициентами корреляции статистическую связь; по заданному критерию игнорировать или учитывать аргумент; выбирать наиболее значимые аргументы; на основе элементарного дискриминантного анализа проводить обобщение всей информации и рассчитывать обобщенный показатель P .

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. Программа «Пегас» находит наиболее информативные створы для расчета разностей атмосферного давления для учета воздушных переносов, влияющих на разрушение припая посредством как динамического, так и термического воздействия вследствие адвекции тепла или холода в районы припайной зоны.

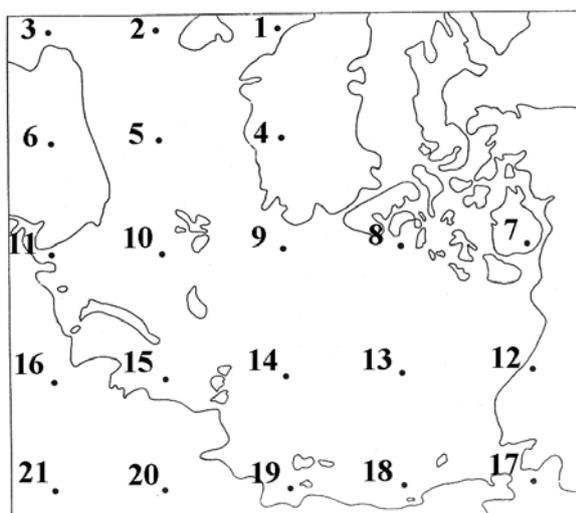


Рис. 4. Схема центров сеточной области для учета атмосферного давления

При выборе информативных показателей (предикторов) для прогноза сроков разрушения припая необходимо учитывать наиболее ранние сроки для обеспечения необходимой заблаговременности прогноза, равной 15–30 суткам. Как видно из рис. 5, эти показатели необходимо использовать не позже апреля-мая, так как в начале июня, а в восточном районе иногда в мае, происходит разрушение припая.

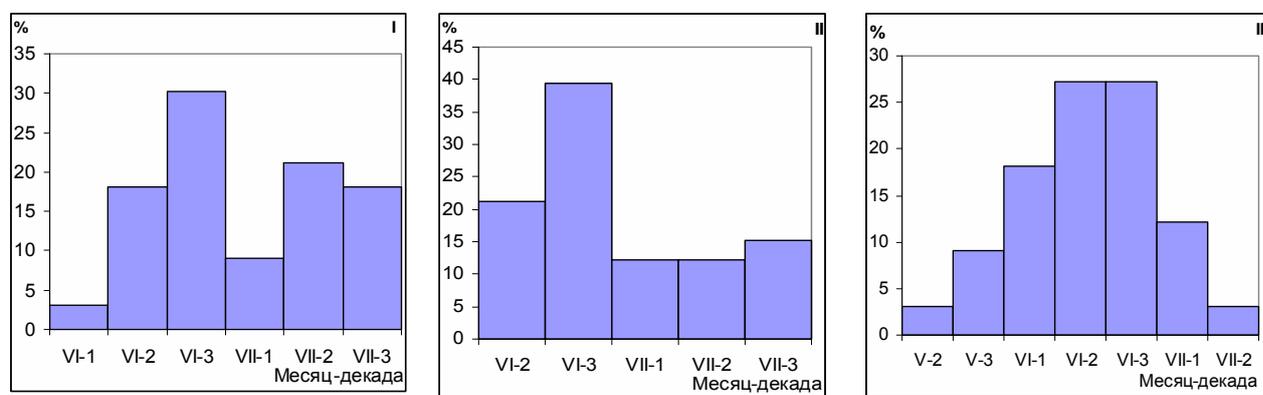


Рис. 5. Гистограммы распределения сроков разрушения припая в районах чукотского побережья за период 1980–2012 гг.

Для нахождения информативных показателей и построения прогностических уравнений для сроков взлома припая в каждом из районов чукотского побережья были использованы поля среднемесячного приземного атмосферного давления с января по май, ряды среднемесячной температуры воздуха за апрель–май на полярных станциях «Шмидт», «Ванкарем», «Уэлен», а также ширина припая на репрезентативных для районов створах.

Результаты корреляционного анализа сроков взлома припая с различными показателями для каждого района сведены в табл. 3.

В результате преобразования информативных показателей программа рассчитала коэффициенты (А и В) и обобщенный показатель (Р) для результирующих корреляционных уравнений для каждого из районов и произвела расчет по этим уравнениям для каждого года рядов сроков взлома припая в районах. Пример расчета для района I приведен в табл. 4. Таблица содержит коэффициенты корреляции результирующего прогностического уравнения (R), квадрат коэффициента корреляции (R^2), характеризующий степень учета уравнением изменчивости сроков взлома припая и обеспеченность расчетного уравнения.

Уравнения для прогноза сроков разрушения припая (D) для каждого района, полученные в результате расчетов по программе «Пегас», представлены в табл. 5 и 6. Таблицы отличаются критериями ($0,8\sigma$ и $0,674\sigma$) для методической оценки разработанного прогноза и их эффективности.

**Результаты анализа информативности различных показателей для прогнозирования сроков
взлома припая в районах чукотского побережья**

Район I			
Массив параметров	Месяц	Информационный створ/станция	Коэффициенты корреляции
Давление	Январь	9	0,45
	Февраль	14–20	–0,37
	Март	13–16	–0,53
	Апрель	12–18	–0,46
	Май	11–17	0,57
Температура	Апрель	Ванкарем	–0,40
	Май		–0,64
Температура	Апрель	Шмидта	–0,52
	Май		–0,71
Температура	Апрель	Уэлен	–0,28
	Май		–0,56
Ширина припая	Май	Створ 2	0,37
Район II			
Давление	Январь	6–11	0,48
	Февраль	14–20	0,34
	Март	2–21	–0,56
	Апрель	12–18	–0,47
	Май	11–17	0,61
Температура	Апрель	Ванкарем	–0,42
	Май		–0,73
Температура	Апрель	Шмидта	–0,59
	Май		–0,77
Температура	Апрель	Уэлен	–0,24
	Май		–0,64
Ширина припая	Май	Створ 4	0,31
Район III			
Давление	Январь	14–18	0,46
	Февраль	8–14	0,31
	Март	11–12	0,63
	Апрель	17–18	–0,50
	Май	16–17	0,52
Температура	Апрель	Ванкарем	–0,24
	Май		–0,63
Температура	Апрель	Шмидта	–0,38
	Май		–0,57
Температура	Апрель	Уэлен	–0,28
	Май		–0,32
Ширина припая	Май	Створ 6	0,51

Таблица 4

Пример расчета по прогностическому уравнению для района I

Год	SR	AO	A	R	R2	Фактич	Расчет	Раз-сть
1980	8.626	-48.068	11.400	.848	.720	42.000	50.265	-8.265
1981	6.379					30.000	24.649	5.351
1982	8.924					51.000	53.658	-2.658
1983	8.510					55.000	48.947	6.053
1984	8.393					57.000	47.608	9.392
1985	9.095					55.000	55.613	-.613
1986	6.933					27.000	30.969	-3.969
1987	7.697					42.000	39.673	2.327
1988	8.357					43.000	47.198	-4.198
1989	7.116					42.000	33.051	8.949
1990	5.478					26.000	14.384	11.616
1991	6.811					29.000	29.577	-.577
1992	6.726					21.000	28.602	-7.602
1993	7.117					31.000	33.059	-2.059
1994	8.509					57.000	48.928	8.072
1995	7.366					43.000	35.900	7.100
1996	6.387					45.000	24.739	20.261
1997	6.354					22.000	24.371	-2.371
1998	8.824					55.000	52.518	2.482
1999	7.463					33.000	37.008	-4.008
2000	6.606					25.000	27.241	-2.241
2001	6.788					27.000	29.311	-2.311
2002	5.382					16.000	13.282	2.718
2003	5.981					18.000	20.111	-2.111
2004	6.490					22.000	25.921	-3.921
2005	6.901					23.000	30.597	-7.597
2006	6.840					22.000	29.906	-7.906
2007	6.449					20.000	25.451	-5.451
2008	6.955					19.000	31.217	-12.217
2009	5.293					6.000	12.276	-6.276
2010	6.829					27.000	29.780	-2.780
2011	6.704					24.000	28.360	-4.360
2012	7.097					16.000	32.832	-16.832

Таблица 5

Оценка обеспеченности уравнений для прогноза сроков взлома припая в районах чукотского побережья по критерию $0,8\sigma$ для периода 1980–2007 гг.

Район	Прогностические уравнения	0,8 σ , сутки	Обеспеченность, %		Эффект. %
			метод.	природ.	
I – м. Якан–м. Ванкарем	D = 10,530P – 44,590	11	93	64	29
II – м. Ванкарем–о. Колючин	D = 8,599P – 36,233	10	89	58	31
III – м. Сердце Камень–Уэлен	D = 13,513P – 29,540	10	93	68	25

Таблица 6

Оценка обеспеченности уравнений для прогноза сроков взлома припая в районах чукотского побережья по критерию $0,674\sigma$ для периода 1980–2007 гг.

Район	Прогностические уравнения	0,674 σ , сутки	Обеспеченность, %		Эффект. %
			метод.	природ.	
I – м. Якан–м. Ванкарем	D = 10,530P – 44,590	10	86	54	32
II – м. Ванкарем–о. Колючин	D = 8,599P – 36,233	9	86	50	36
III – м. Сердце Камень–Уэлен	D = 13,513P – 29,540	9	93	64	29

Как можно видеть из табл. 5 и 6, методическая обеспеченность прогностических уравнений сроков разрушения припая на зависимых рядах для обоих критериев оценки достаточно высокая – в пределах 86–93 % при эффективности, в сравнении с природной обеспеченностью, равной 29–36 %.

Результаты испытаний метода прогноза для периода 2008–2012 гг.

Разработанные прогностические уравнения были использованы для прогнозов сроков взлома припая в период 2008–2012 гг. Результаты представлены в табл. 7 и 8.

Таблица 7

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая за период 2008–2012 гг. (критерий 0,8 σ)

Год	Район I				Район II				Район III			
	Прог- ноз	Факт	Ошиб- ка, сутки	Опр., %	Прог- ноз	Факт.	Ошиб- ка, сутки	Опр., %	Прог- ноз	Факт.	Ошиб- ка, сутки	Опр., %
2008	29.06	19.06	10	100	02.07	22.06	10	100	08.06	28.05	10	100
2009	11.06	06.06	5	100	14.06	15.06	-1	100	24.05	16.05	8	100
2010	30.06	27.06	3	100	29.06	25.06	4	100	17.06	10.06	7	100
2011	01.07	24.06	7	100	24.06	23.06	1	100	13.06	13.06	0	100
2012	02.07	16.06	16	0	01.07	16.06	15	0	20.06	08.06	12	0
Среднее				80				80				80

Таблица 8

Оценка оправдываемости прогнозов сроков окончательного разрушения припая за период 2008–2012 гг. (критерий 0,674 σ)

Год	Район I				Район II				Район III			
	Прог- ноз	Факт	Ошиб- ка, сутки	Опр., %	Прог- ноз	Факт.	Ошиб- ка, сутки	Опр., %	Прог- ноз	Факт.	Ошиб- ка, сутки	Опр., %
2008	29.06	19.06	10	100	02.07	22.06	10	0	08.06	28.05	10	0
2009	11.06	06.06	5	100	14.06	15.06	-1	100	24.05	16.05	8	100
2010	30.06	27.06	3	100	29.06	25.06	4	100	17.06	10.06	7	100
2011	01.07	24.06	7	100	24.06	23.06	1	100	13.06	13.06	0	100
2012	02.07	16.06	16	0	01.07	16.06	15	0	20.06	08.06	12	0
Среднее				80				60				60

Как видно из табл. 7, при оценке оправдываемости прогноза по критерию 0,8 σ не оправдался прогноз в 2012 г., когда во всех районах наблюдалось аномально раннее разрушение припая, обусловленное краткосрочным выносом тепла и ранним развитием

Чукотской заприпайной прогалины. В среднем за пять лет по всем районам оправдываемость прогноза составила 80 %.

При более строгой оценке прогноза по критерию $0,674\sigma$ в районе I средняя оправдываемость за пять лет осталась на уровне 80 %, в двух других районах – понизилась до 60 %.

Разработанный метод долгосрочного прогноза сроков разрушения припая в районах Чукотского моря может быть уточнен краткосрочными прогнозами, методики которых изложены в [2].

Список литературы

1. 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.

2. 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.