



Белого моря, за исключением восточного побережья Горла, где процесс активизируется в первой декаде декабря, и западного побережья Воронки, где лед появляется обычно в конце декабря. К середине декабря ледовый покров активно развивается на акватории всех заливов, а к середине января дрейфующие льды занимают Бассейн и Горло моря. С этого времени и до апреля кромка располагается в Воронке. В феврале - марте ледовитость Белого моря и

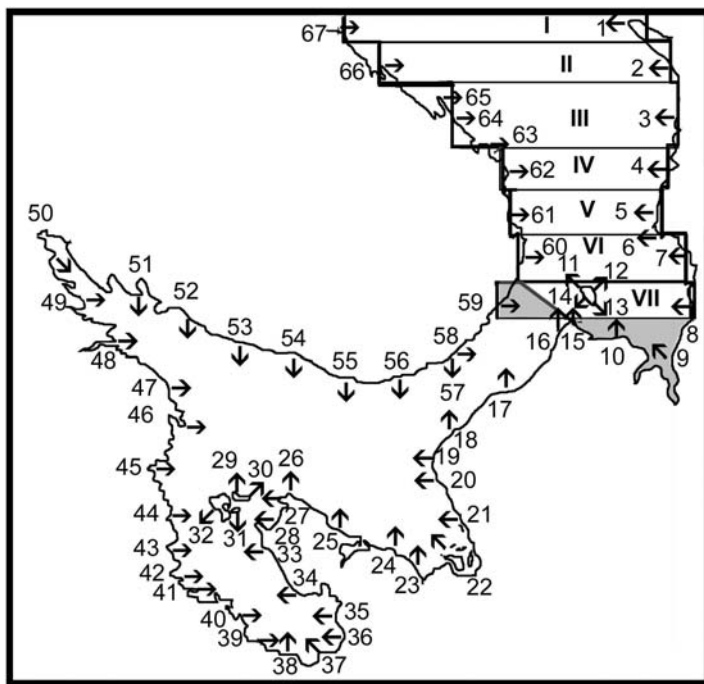


Рис. 2. Схема точек отсчета и направлений фиксированных створов.

толщины припайного и дрейфующего льда достигают максимальных значений.

Для анализа межгодовой изменчивости положения кромок дрейфующего льда в Белом море был подготовлен массив данных о протяженности ледовых зон (в минутах широты – морских милях), снятых с карт ледовых авиаразведок и снимков ледовой обстановки ИСЗ. Было обработано порядка 300 карт и снимков. Схема точек отсчета от береговой черты и направление фиксированных створов приведены на рис.2.

Для расчета среднемесячного положения кромок использовались карты ледовых разведок и снимки ИСЗ

за период с 1951 по 1994 г., максимально приближенные к середине расчетного месяца. При отсутствии данных, относящихся ко

второй декаде, в случае наличия надежных сведений в первой и третьей декадах месяца в счет принималось положение кромки на середину месяца, полученное путем интерполяции.

Расчет средних, максимальных и минимальных значений протяженности ледовых зон (либо зон чистой воды) осуществлялся в программе EXCEL. С ноября по май снимались данные о ледовых зонах, а для июня, когда на акватории моря преобладает чистая вода - данные о протяженности зон чистой воды.

Для ноября-мая был применен следующий расчетный прием.

Принимались следующие значения в массиве (ячейке расчетной таблицы):

«0» – если в направлении вектора створа наблюдалась чистая вода (независимо от протяженности чистой воды); «Л» – если лед наблюдался до противоположного берега; численное значение, если фиксировалась протяженность ледовой зоны до чистой воды (расстояние от берега до кромки). Ячейка не заполнялась – при отсутствии данных.

Среднее значение для каждого фиксированного створа рассчитывалось из условия:  $=ЕСЛИ(A_{Li} > (30 - A_{Hi})/2; "Л"; ЕСЛИ(A_{Li} > (30 - A_{Hi})/2; "0"; A_{Mi}))$ ,

где  $i$  – номер фиксированного створа (или стороки в массиве), изменяется от 1 до 67;  $A_{Li}$  – число ячеек со значением «Л» – выбирается из каждой строки массива, состоящей из 44 ячеек (1951-1994 гг.);

$A_{Hi}$  – число пустых ячеек – нет данных – выбирается из каждой строки массива, состоящей из 44 ячеек (1951-1994 гг.);

$A_{Li}$  – число ячеек со значением 0 – чистая вода – выбирается из каждой строки массива, состоящей из 44 ячеек (1951-1994 гг.);

$A_{Mi}$  – простое среднее всех численных значений для 44 ячеек.

Минимальное значение определялось из условия:  $=ЕСЛИ(A_{Li} = A_{Li}; "Л"; A_{Li})$ ,

где  $AL_i$  – число ячеек со значением 0 (чистая вода),  $AJ_i$  – простой минимум для всех числовых значений и «Л»- (возвращает 0 при отсутствии числовых значений в строке).  
Условие  $AL_i = AJ_i$  исключает ложный ноль.

Максимальное значение определяется из условия:  $=ЕСЛИ(AL_i > 0; "Л"; AK_i)$ ,  
где  $AL_i$  – число ячеек со значением «Л»,  $AK_i$  – простой максимум для всех числовых значений.

Для июня, когда в море преобладает чистая вода, а лед наблюдается в виде отдельных пятен, был применен следующий расчетный прием.

Принимались следующие значения в ячейках:

«Л» – если в направлении вектора створа (галса) наблюдался лед (независимо от протяженности ледовой зоны); «Ч» – чистая вода до противоположного берега; числовое значение – протяженность зоны чистой воды до льда (расстояние до кромки). Ячейка не заполнялась – при отсутствии данных.

Среднее значение рассчитывалось из условия:  $=ЕСЛИ((30 - AN_i) / 2 > AL_i; AM_i; "Ч")$ ,  
где  $AN_i$  – число пустых ячеек (нет данных),  $AL_i$  – число ячеек со значением «Ч»,  
 $AM_i$  – простое среднее для всех численных значений ячеек.

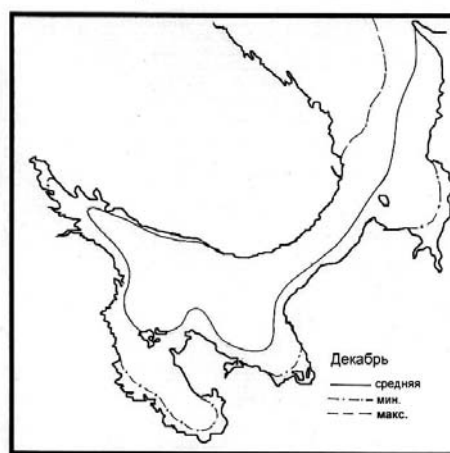
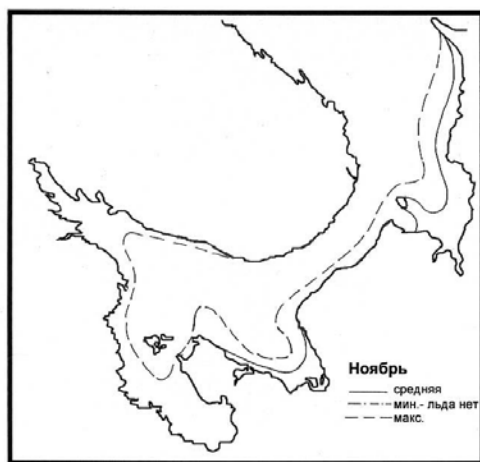
Минимальное значение определялось из условия:  $=ЕСЛИ(AL_i > 0; "Ч"; AK_i)$ ,  
где  $AL_i$  – число ячеек со значением «Ч»,  $AK_i$  – простой максимум для всех числовых значений.

Максимальное значение определялось из условия:

$=ЕСЛИ(AN_i + AL_i = 30; "Ч"; ЕСЛИ(AJ_i > 0; "Л"; AI_i))$ ,

где  $AN_i$  – число пустых ячеек (нет данных),  $AL_i$  – число ячеек со значением «Ч»,  
 $AJ_i$  – число ячеек со значением «Л»,  $AI_i$  – простой минимум для всех числовых значений.

Результатом обработки массива являются карты-схемы среднего максимального и минимального положения кромок льда в ноябре-июне (рис. 3).



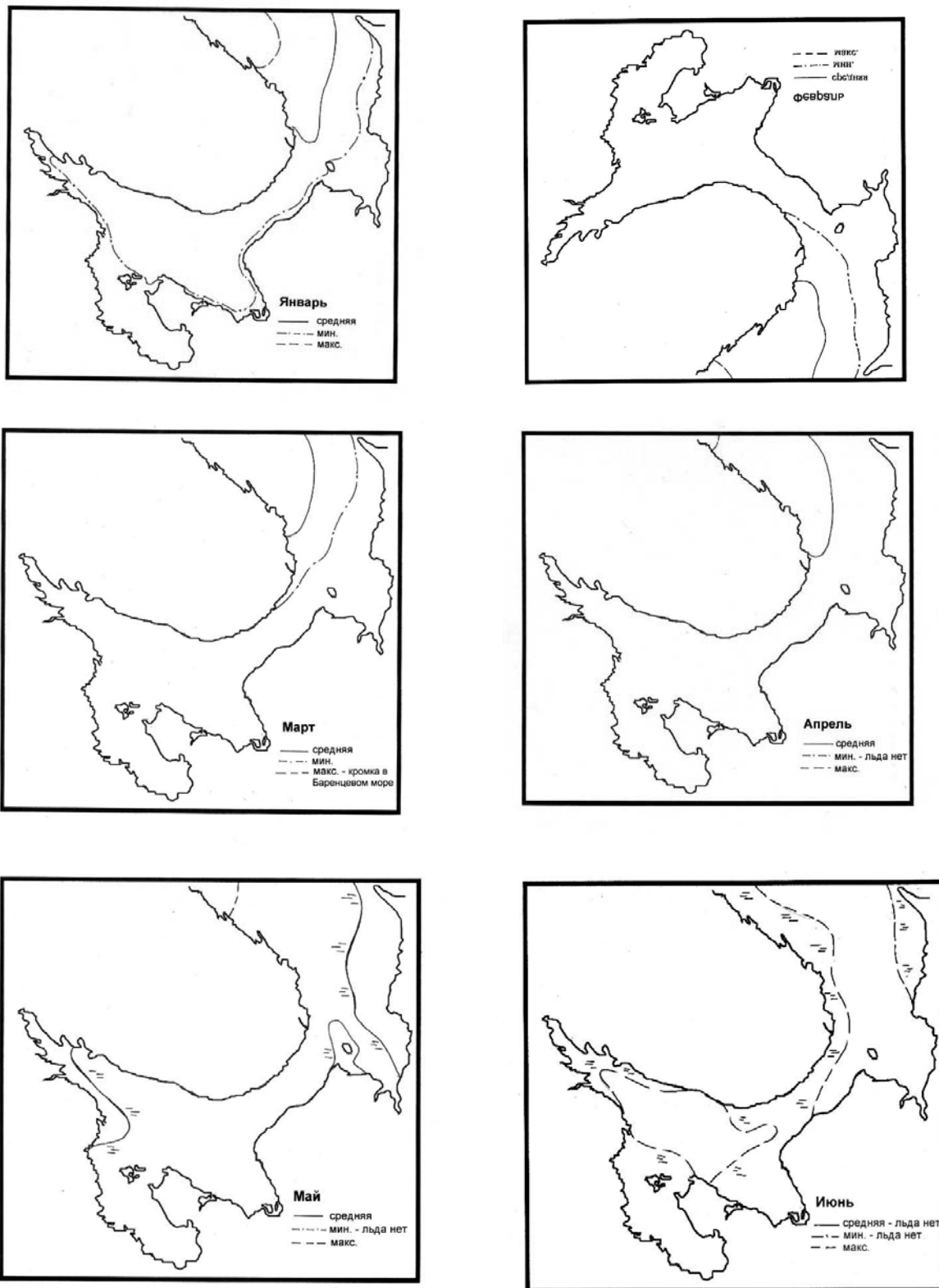


Рис.3. Средние, максимальные и минимальные положения кромок дрейфующего льда в ноябре-июне.

Приведенные выше карты-схемы (рис.3) демонстрируют достаточно большую межгодовую изменчивость положения кромки льда в Белом море. Так, в январе в отдельные годы море может быть полностью покрыто дрейфующим льдом, тогда как в годы минимальной интенсивности развития ледового покрова дрейфующий лед наблюдается

лишь на акватории заливов (что соответствует среднемноголетнему положению кромки льда в декабре). Мы видим также, что в среднем в конце мая море полностью освобождается ото льда. Однако в отдельные годы в Бассейне и в Воронке лед может сохраняться до июня.

Анализ массива протяженности ледовых зон (1951-1994 гг.) позволил выявить для Белого моря группы лет, соответствующие раннему и позднему развитию процессов ледообразования и очищения моря ото льда (табл. 2).

Для массива протяженности ледовых зон были подсчитаны суммарные для каждого года значения. Их межгодовая изменчивость характеризует изменчивость ледовитости. Как и сам параметр ледовитости, для осени и весны, когда в море наблюдаются льды различной сплоченности, суммарная протяженность ледовых зон не является показательной. Однако эта характеристика в высокой степени информативна для времени максимального развития ледового покрова (февраль-март), когда лед практически по всей площади имеет сплоченность 9-10 баллов. Февраль – самый холодный зимний месяц по данным беломорских станций: средняя температура изменяется от  $-8 - 10^\circ$  в северной части моря до  $-11-12^\circ$  – в южной. Абсолютный минимум –  $45^\circ$ . В этот период толщина припайного льда также достигает максимальных значений: порядка 40 см в мягкие зимы, до 80 см – в суровые, 60 см – в умеренные.

В феврале-марте положение кромки в Воронке Белого моря определяет максимальную за ледовый сезон ледовитость моря, максимальный ледозапас, характеризует степень тяжести ледовых условий для зимнего мореплавания.

Для расчета непосредственно значений ледовитости с использованием массива протяженности ледовых зон был применен следующий способ.

Северная часть моря была поделена на восемь прямоугольных районов, суммарно аппроксимирующих северную часть Белого моря (рис.1), в пределах которой и изменяется положение кромки в феврале-марте. Для удобства расчетов за северную границу была принята параллель мыса Канин Нос, т.е. расчетная область несколько вышла за географическую границу Белого моря, проходящую от м. Святой Нос до м. Канин Нос. Если площадь моря, строго говоря, равна 90,7 тыс. км<sup>2</sup>, то расчетная область имела площадь 98 тыс. км<sup>2</sup>.

Ледовитость моря вычислялась по формуле

$$S_{\text{моря}} = S_0 + S_I + S_{II} + S_{III} + S_{IV} + S_V + S_{VI} + S_{VII},$$

где  $S_0$  – суммарная площадь Бассейна, Горла, Кандалакшского, Двинского и Онежского заливов ( $S_0 = 60.4$  тыс. км<sup>2</sup>);

$$S_I = 34 (P_I + P_{67}); \quad S_{II} = 51 (P_2 + P_{66}); \quad S_{III} = 85 (P_3 + P_{64}); \quad S_{IV} = 61 (P_4 + P_{82});$$

$$S_V = 75 (P_5 + P_{61}); \quad S_{VI} = 68 (P_7 + P_{60}); \quad S_{VII} = 51 (P_8 + P_{59});$$

$P_i$  – протяженность ледовых зон от соответствующих точек.

Числовые коэффициенты получены путем умножения ширины прямоугольных областей в минутах широты на 3,4 – переводной коэффициент от миль<sup>2</sup> в км<sup>2</sup>.

Расчетные значения ледовитости для февраля и марта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Максимальная ледовитость Белого моря

Год	Годовая повторяемость формы W	Ледовитость ( $S_f$ ) в феврале			Ледовитость ( $S_m$ ) в марте			Максимальная ( $S_{\text{год}}$ ) ледовитость		
		$S_f$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_f - S_{\text{cp}})^2$	$S_f(\%)$	$S_m$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_m - S_{\text{cp}})^2$	$S_m(\%)$	$S_{\text{год}}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_{\text{год}} - S_{\text{cp}})^2$	$S_{\text{год}}(\%)$
1951	101	87,5	1,9	89,3	86,2	0,0	87,9	87,5	0,4	89,3
1952	94	83,5	6,7	85,2	83,5	7,3	85,2	83,5	21,1	85,2
1953	119		32,6	93,7		0,0	88,0	91,8	13,7	93,7

Год	Годовая повторяемость формы W	Ледовитость ( $S_{\Phi}$ ) в феврале			Ледовитость ( $S_M$ ) в марте			Максимальная ( $S_{год}$ ) ледовитость		
		$S_{\Phi}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	( $S_{\Phi} - S_{cp}$ ) <sup>2</sup>	$S_{\Phi}(\%)$	$S_M$ (тыс. км <sup>2</sup> )	( $S_M - S_{cp}$ ) <sup>2</sup>	$S_M(\%)$	$S_{\Phi}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	( $S_{\Phi} - S_{cp}$ ) <sup>2</sup>	$S_{\Phi}(\%)$
		91,8			86,2					
1954	122	80,2	34,8	81,8	82,5	13,6	84,2	82,5	31,2	84,2
1955	109	87,6	2,1	89,3	95,5	87,1	97,5	95,5	55,2	97,5
1956	122	92,5	40,8	94,4	93,4	52,2	95,3	93,4	28,3	95,3
1957	103	86,0	0,0	87,8	94,5	69,1	96,4	94,5	41,1	96,4
1958	68	95,0	78,7	96,9	94,7	72,8	96,7	95,0	47,2	96,9
1959	86	73,3	164,5	74,8	78,9	53,3	80,5	78,9	84,6	80,5
1960	71	88,1	3,9	89,9	82,4	14,7	84,0	88,1	0,0	89,9
1961	147	86,1	0,0	87,9	84,9	1,8	86,6	86,1	4,0	87,9
1962	122	82,6	12,2	84,3	85,8	0,1	87,6	85,8	5,2	87,6
1963	76	87,4	1,7	89,2	93,4	52,2	95,3	93,4	28,3	95,3
1964	100	85,7	0,1	87,5	87,2	1,1	89,0	87,2	0,7	89,0
1965	85	87,7	2,6	89,5	84,6	2,7	86,3	87,7	0,1	89,5
1966	77	97,1	120,9	99,1	98,0	139,5	100,0	98,0	98,3	100,0
1967	64	85,5	0,4	87,2	83,1	9,3	84,8	85,5	6,8	87,2
1968	63	84,4	2,9	86,1	84,7	2,2	86,4	84,7	11,5	86,4
1969	60	95,7	91,5	97,6	93,3	50,7	95,2	95,7	57,3	97,6
1970	80	88,6	6,1	90,4	83,3	8,6	85,0	88,6	0,2	90,4
1971	70	85,2	0,9	86,9	88,0	3,1	89,8	88,0	0,0	89,8
1972	56	80,1	35,6	81,8	85,6	0,3	87,4	85,6	6,1	87,4
1973	94	78,3	61,3	79,9	84,3	3,7	86,0	84,3	14,6	86,0
1974	71	97,0	119,4	99,0	78,7	55,7	80,3	97,0	79,7	99,0
1975	83	82,7	11,5	84,4	77,4	77,3	79,0	82,7	29,1	84,4
1976	31	86,3	0,0	88,0	81,9	18,1	83,6	86,3	3,3	88,0
1977	70	85,6	0,2	87,4	84,6	2,6	86,3	85,6	6,1	87,4
1978	93	85,0	1,1	86,8	91,6	29,4	93,5	91,6	12,4	93,5
1979	90	97,7	134,7	99,7	97,1	118,0	99,0	97,7	92,3	99,7
1980	76	82,2	15,1	83,9	83,4	8,0	85,1	83,4	22,4	85,1
1981	58	86,0	0,0	87,7	95,4	85,2	97,4	95,4	53,7	97,4

Год	Годовая повторяемость формы W	Ледовитость ( $S_{\phi}$ ) в феврале			Ледовитость ( $S_{\text{м}}$ ) в марте			Максимальная ( $S_{\text{год}}$ ) ледовитость		
		$S_{\phi}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_{\phi} - S_{\text{ср}})^2$	$S_{\phi}(\%)$	$S_{\phi}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_{\phi} - S_{\text{ср}})^2$	$S_{\phi}(\%)$	$S_{\phi}$ (тыс. км <sup>2</sup> )	$(S_{\phi} - S_{\text{ср}})^2$	$S_{\phi}(\%)$
1982	106	86,2	0,0	88,0	86,5	0,1	88,2	86,5	2,7	88,2
1983	112	84,6	2,3	86,3	86,4	0,0	88,1	86,4	2,9	88,1
1984	59	79,9	38,8	81,5	79,5	44,5	81,2	79,9	67,8	81,5
1985	99	91,1	25,1	93,0	87,3	1,2	89,1	91,1	9,0	93,0
1986	119	80,8	28,5	82,4	86,1	0,0	87,8	86,1	4,1	87,8
1987	104	89,5	11,5	91,3	84,7	2,1	86,5	89,5	1,9	91,3
1988	125	91,0	23,8	92,8	84,5	2,8	86,2	91,0	8,3	92,8
1989	117	80,1	35,5	81,8	75,8	108,8	77,3	80,1	63,4	81,8
1990	120	84,4	3,0	86,1	84,4	3,2	86,1	84,4	13,6	86,1
1991	114	82,2	15,0	83,9	87,6	1,9	89,4	87,6	0,3	89,4
1992	129	76,1	100,6	77,6	77,9	68,6	79,5	77,9	103,7	79,5
1993	129	85,5	0,3	87,3	81,9	18,5	83,6	85,5	6,5	87,3
1994	130	84,4	3,1	86,1	87,6	1,8	89,3	87,6	0,3	89,3
<b>Средняя</b>	<b>93,7</b>	<b>86,1</b>	<b>28,9</b>	<b>87,8</b>	<b>86,2</b>	<b>29,4</b>	<b>88,0</b>	<b>88,1</b>	<b>25,9</b>	<b>89,9</b>
<b>Максимальная</b>	<b>147,0</b>	<b>97,7</b>	<b>164,5</b>	<b>99,7</b>	<b>98,0</b>	<b>139,5</b>	<b>100,0</b>	<b>98,0</b>	<b>103,7</b>	<b>100,0</b>
<b>Минимальная</b>	<b>31,0</b>	<b>73,3</b>	<b>0,0</b>	<b>74,8</b>	<b>75,8</b>	<b>0,0</b>	<b>77,3</b>	<b>77,9</b>	<b>0,0</b>	<b>79,5</b>
<b>Среднее квадр. откл.</b>		<b>5,1</b>			<b>5,3</b>			<b>4,9</b>		

На рис. 4 представлен межгодовой ход максимальной ледовитости.

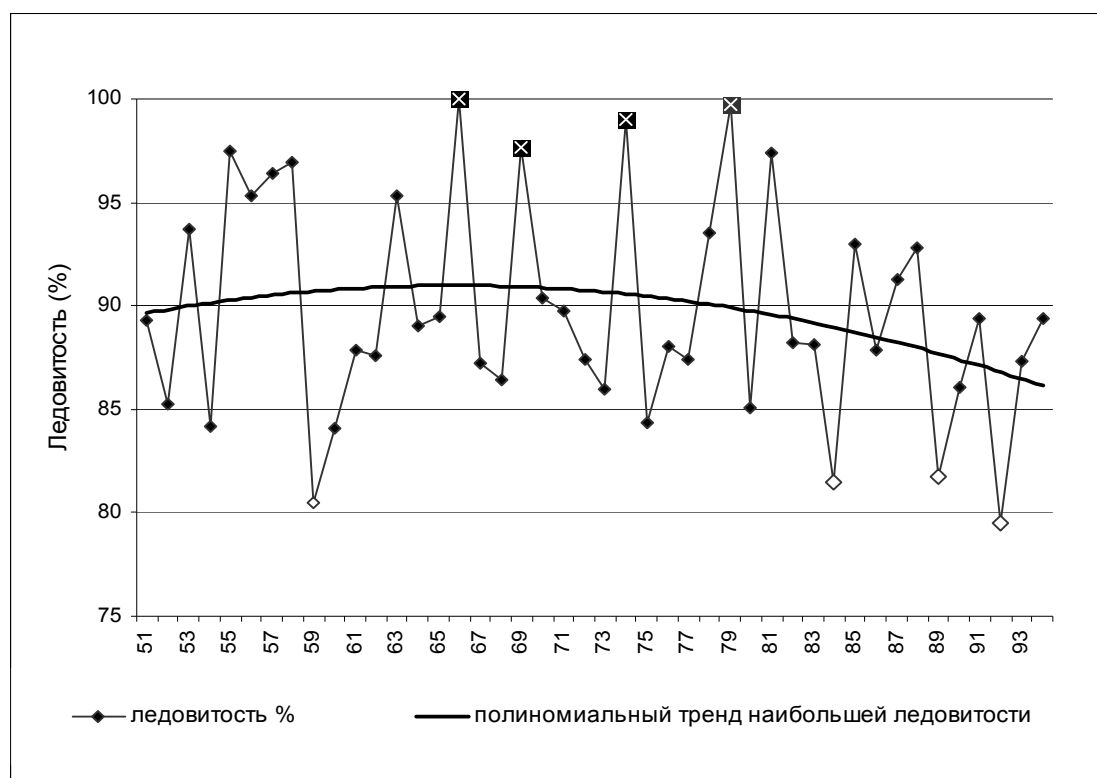


Рис.4. Межгодовая изменчивость ледовитости Белого моря.

Анализ графика позволяет выявить для периода наблюдений (1951-1994 гг.) годы максимальной и минимальной ледовитости. Мы видим, что четыре аномальных года, когда ледовитость моря достигала 98-100%, приходится на период с 1966 по 1981 г. (16 лет). Это 1966, 1969, 1974, 1979 гг. Годы аномально низких значений максимальной ледовитости (80-82%) попадают в предшествующий период (1951-65гг.) и последующий период (1982-1994гг.). Это 1959, 1984, 1989, 1992 гг. Кроме того, если проанализировать таблицу групп лет раннего и позднего ледообразования и очищения моря ото льда (табл. 2), то нетрудно заметить что большинство лет с ранней интенсификацией процесса ледообразования и поздним очищением моря ото льда попадают в группу II, и, напротив, к группам I и III относятся по преобладанию годы с поздней интенсификацией процесса ледообразования и ранним очищением моря от льда.

Таблица 2

Группы лет раннего и позднего ледообразования и очищения моря ото льда

Наибольшее распространение льда, декабрь	Наименьшее распространение льда, декабрь	Раннее очищение, май	Позднее очищение, июнь
1966 (II)	1962 (I)	1951(I)	1958 (I)
1968 (II)	1972 (II)	1954(I)	1966 (II)
1973(II)	1977 (II)	1961(I)	1969 (II)
1978(II)	1982(III)	1967 (II)	1971 (II)
1980 (II)	1986(III)	1975 (II)	1981(II)
1987(III)	1991(III)	1989 (III)	

Таким образом, установлены три группы лет с количественно и качественно отличающимися ледовыми характеристиками: I группа – 1951-1965 гг., II группа 1966- 1981 гг.(ранний процесс ледообразования, позднее очищение акватории моря ото льда, аномальная ледовитость), III группа - 1982 – 1994 гг. Вероятно, различия ледовых условий в



этих группах связаны с макроциркуляционными изменениями, происходящими в атмосфере и гидросфере северного полушария. Однако этот вопрос требует дальнейших проработок.

#### **Список литературы**

1. Комплексный гидрометеорологический справочник Баренцева и Белого морей. Гидрометиздат, Л., 1971, 230 с.
2. Лоция Белого моря. Управлением Гидрографической службы ВМФ. 1964.
3. Справочник по гидрометеорологическим условиям шельфовой зоны морей СССР, т.V, Белое море. НТО. ГР 79028191. СУГКС, Архангельск, 1980, 240 с.
4. Справочник по климату СССР. Вып. I. Архангельская и Вологодская области. Карельская и Коми АССР, ч.II. Температура воздуха и почвы, Л., Гидрометиздат, 1965, 358 с.