

## АНТАРКТИЧЕСКИЙ ПРИПАЙ — ЭФФЕКТИВНЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ХАРАКТЕРА РАЗВИТИЯ ЛЕДОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ЮЖНОМ ОКЕАНЕ

*ст. науч. сопр. А.И. КОРОТКОВ, инженер С.В. КАШИН*

*ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: korotkov@aari.ru*

Припай является, казалось бы, самым консервативным элементом антарктического ледяного покрова, почти ежегодно повторяя характерные очертания материковой отмели и достигая одних и тех же предельных размеров: максимальная площадь составляет около 0,5 млн км<sup>2</sup> и минимальная — 0,2 млн км<sup>2</sup> (Коротков, 1995). Однако межгодовая изменчивость сроков этих экстремумов (окончательного замерзания прибрежной акватории зимой и разрушения припая в летне-осенний период) составляет в среднем три месяца, что вдвое больше, чем в Арктике (Карелин, Карклин, 2012). В особо динамичных районах станций Русская, Ленинградская и Беллинсгаузен она увеличивается до пяти месяцев. Изменчивость толщины однолетнего припая также весьма значительна. Размах ее межгодовых колебаний может превышать 0,5 м при нарастании припая в холодный период примерно до 1,5 м.

Впервые выполненное обобщение имеющихся на 2013 г. результатов измерений параметров припайного льда (табл. 1) и температуры приледного слоя воды (табл. 2) по большинству районов прибрежных станций и сезонных баз РАЭ подтверждает сложившееся представление об антарктическом ледяном покрове как «зримом», поверхностном отпечатке своей океанологической сущности — термохалинной структуры и циркуляции вод.

Самый тонкий припай образуется, как это ни парадоксально, в районе наиболее высокоширотной, располагающейся почти на 75-й параллели станции Русская. Основной причиной является неожиданно «теплая» подстилающая лед морская поверхность в окрестностях залива Корделла Халла. Период перехода зимой температуры поверхностного слоя через значение  $-1,8$  °С, которое соответствует температуре замерзания, здесь минимальный и фактически совпадает с полярной ночью, продолжаясь с середины мая по сентябрь. Последующий ежегодный прогрев чрезвычайно устойчив, хотя и незначителен — максимум до  $-1,2$  °С в середине января.

В районе станции Прогресс поверхностный слой моря летом может прогреваться до  $1,0$  °С. Однако в холодную половину года он отличается очень низкими значениями температуры, тождественными району станции Ленинградская. Это связано, вероятно, с охлаждающим влиянием обнаруженного зимой 2007 г. на глубинных горизонтах примерно 50-метрового слоя экстремально холодных вод с температурой до  $-2,06$  °С, которые вытекают из-под выводного ледника Долк по внутришельфовому желобу.

Самый толстый припай формируется в районе станции Ленинградская, который отличается наиболее низкой температурой поверхностных вод. На протяжении почти всего года она не превышает  $-1,8$  °С при среднегодовом значении  $-1,9$  °С. Это

Таблица 1

Средние многолетние значения толщины припая  $z$  и высоты снега на нем  $h$  в районах прибрежных станций и сезонных баз РАЭ

Пара-метр	III		IV		V		VI		VII		VIII		IX		X		XI		XII		II		Макс.												
	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10	20	30	10	20	31	10	20	31	10		20	28										
$z$ , см	2	18	35	40	46	55	69	72	75	80	84	90	97	108	113	118	120	124	128	132	136	139	142	144	145	146	145	144	143	147	150	156	161		
	0	1	5	6	8	12	14	17	19	20	21	24	27	30	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50		
$h$ , см	165	169	170	172	173	174	176	178	179	181	184	186	188	191	195	197	199	201	202	203	204	205	206	207	212	214	216	217	218	218	213	212	213		
	62	61	61	61	62	65	77	81	83	84	86	88	90	91	92	93	92	91	89	90	91	93	93	93	95	104	100	102	105	107	111	111	111		
<i>Ленинградская</i>																																			
<i>Однолетний припай</i>																																			
$z$ , см	40	48	60	67	72	75	76	77	78	79	77	75	73	72	70	65	54	53	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48	48			
	0	6	7	10	12	12	11	11	13	13	14	14	12	8	7	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		
$h$ , см	39	49	53	56	62	67	72	76	83	85	90	95	100	103	106	109	116	122	131	139	148	148	144	138	136	132	130	126	114	109	104	102	102		
	4	8	8	9	9	10	10	10	11	11	11	12	12	12	16	18	20	21	22	22	24	26	20	20	17	16	15	12	9	6	4	1	26		
<i>Многолетний припай (2-летний)</i>																																			
$z$ , см	84	92	100	108	114	118	123	131	139	147	154	160	167	172	177	181	184	187	189	190	192	194	193	190	188	184	176	166	152	144	137	128	120	113	
	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	2	2	1	0	0	0	0	1	4	
$h$ , см	116	117	117	118	122	127	133	136	139	141	145	150	158	162	168	175	180	186	191	193	194	196	198	197	196	194	174	162	155	150	147	141	137	198	
	3	3	4	7	4	7	8	7	5	4	3	2	1	0	2	2	8	11	8	8	6	6	6	12	5	2	0	0	2	1	1	12	10	3	12
<i>Мирный</i>																																			
<i>Однолетний припай</i>																																			
$z$ , см	22	30	39	47	54	61	68	73	78	84	89	95	101	106	113	121	127	133	139	143	147	152	155	156	157	155	153	145	139	125	110	104	86	80	
	1	4	6	10	10	14	15	15	17	18	18	18	18	18	17	18	19	19	20	20	20	20	20	20	21	22	21	21	20	15	11	8	4	2	22
$h$ , см	50	57	64	70	71	72	73	80	83	88	93	96	98	102	105	109	116	123	127	137	142	147	149	151	155	160	165	165	158	154	126	111	111	165	165
	10	14	14	16	21	24	20	15	11	14	17	21	21	21	21	22	22	21	20	18	18	19	20	20	20	20	20	20	22	22	22	22	22	24	24
<i>Многолетний припай (2-летний)</i>																																			



обуславливает фактически непрерывный характер нарастания однолетнего припая вместо его обычного летнего стаивания в других районах не менее чем на 0,5 м до наступления взлома.

Район станции Мирный в целом соответствует средним ледово-гидрологическим условиям за исключением экстремально низких значений температуры воды ( $-2,2$  °C), наблюдавшихся зимой 1990 г., когда местный припай вырос до рекордной толщины 193 см.

Особенно отчетливо указанные различия проявляются в изменениях состояния многолетнего припая. Двухлетний припай, достигающий к началу таяния толщины около 2 м, на большинстве станций за лето сокращается примерно вдвое. Однако следующей зимой, на третьем году существования он вновь восстанавливается до 2-метровой толщины, т.е. пребывает в равновесном состоянии.

Многолетний припай в районе станции Ленинградская, напротив, фактически перманентно нарастает. При этом неослабевающее нарастание припая снизу подкрепляется его активным нарастанием сверху за счет инфильтрационного снежно-водного ледообразования (Черепанов, Козловский, 1973а) вследствие аномально высокой заснеженности (более 1 м). Очевидно, что при длительном сохранении не взломанным такой припай может превратиться в шельфовый ледник. Аналогичные условия, по-видимому, существуют на шельфе у побережья Антарктического п-ова в море Уэдделла и в районе станции Новолазаревская, где в вершине залива Ленинградский в 1963 г. наблюдалась рекордная толщина 2-летнего припая — более 4—5 м (Леденев, 1964).

Площадь многолетнего припая в Антарктике оценивается в 95 тыс. км<sup>2</sup>, из которых по состоянию на 1980 г. 68 тыс. км<sup>2</sup> либо находилось на переходной стадии к шельфовому леднику (54 тыс. км<sup>2</sup>), либо уже превратилось в него (Коротков, Романов, 1990). Около 27 тыс. км<sup>2</sup> относится к многолетнему припаю периодического образования — на срок до пяти-шести лет.

Ареалом антарктического припая служит шельфовая зона. Припай, разрастающийся за пределы бровки шельфа (изобаты 300—500 м), постоянно подравняется под нее. Это происходит, вероятно, благодаря подламыванию выступающих участков длиннопериодными волнами, которые разрушаются на материковом склоне. Взломанный припай подхватывается склоновым Прибрежным антарктическим течением и вовлекается в западную адвекцию льда, носящую результирующий выносной характер.

Главным фактором взлома припая на шельфе являются волны зыби (Припай..., 1977), которые генерируются в основном глубокими полярно-фронтными циклонами, смещающимися по меридиональным траекториям. С ними также связана адвекция тепла и влаги (осадков в виде снега) в прибрежные районы Антарктиды. В случае антициклонического характера погоды в Антарктике зимой в целом наблюдается толстый и мало заснеженный припай из-за низкой температуры воздуха и уменьшенного количества метелевого снега. В случае циклонического характера погоды наблюдается обратная ситуация. В теплый период года характер атмосферных макропроцессов, как правило, меняется на противоположный. В результате из-за сезонного компенсационного изменения циклонической активности в годы с толстым припаем взлом его происходит зачастую раньше, чем в годы с образовавшимся зимой тонким припаем, который разрушается позже.

Взлом припая стимулирует развитие стационарных полыней (Коротков, 1990б), являющихся оптимальными маршрутами плавания, и регламентирует сроки очищения большинства районов, будучи летом единственным источником пополнения быстро

сокращающегося внешнего пояса дрейфующих льдов. В итоге со взлома припая начинается и его окончательным становлением завершается, образно говоря, калейдоскоп ледовых ландшафтов, которые определяют условия проведения морских операций в самой труднодоступной, прибрежной зоне Антарктики. Наличие припайного льда является синонимом повышенной ледовитости и сложных условий плавания.

Самый продолжительный ряд наблюдений за припаем из всех российских и иностранных станций в Антарктике имеется по району обсерватории Мирный, где он начинается с 1956 г. Большим достоинством местных измерений параметров припайного льда является их выполнение с 1958 г. (3-я САЭ) на рейде станции на одном и том же ледовом профиле м. Мабус – о. Фулмар протяженностью 1,2 км с измерениями через 100 м в 13 точках.

Процедура измерения толщины льда далеко не тривиальна. Она требует достаточных практических навыков из-за специфических антарктических видов дополнительного нарастания льда: сверху за счет упоминавшегося снежно-водного льда и снизу в результате внутриводного ледообразования. При этом необходимы вдумчивый анализ получаемых результатов и, конечно, добросовестность. Всеми этими качествами в полной мере обладали станционные гидрологи первых 15 САЭ, среди которых были сотрудники ААНИИ Е.С. Короткевич, Н.П. Шестериков, М.В. Извеков, Г.И. Баранов, В.А. Спичкин, С.С. Чиковский, В.А. Шамонтъев, В.В. Евсеев. Немаловажно, что не только по официальному статусу, но и по своей человеческой сути это были исследователи, которые относились к наблюдениям заинтересованно, творчески.

Сроки начала ледообразования в районе Мирного чрезвычайно консервативны — 11—12 марта, когда совершается устойчивый переход температуры поверхностного слоя моря через  $-1,8^{\circ}\text{C}$ . Спустя примерно месяц на всей видимой в радиусе 30 км акватории залива Трешникова устанавливается припай, причем рейд станции полностью замерзает в последнюю очередь. Нарастание припая продолжается, как правило, до конца ноября, когда лед достигает максимальной толщины — в среднем около 160 см.

Это самый толстый на тот момент однолетний припай из всех районов прибрежных станций РАЭ. Свыше 10 см временно уступает ему даже припай района станции Ленинградская. Такое преимущество района Мирного по толщине ледяного покрова обязано местному внутриводному ледообразованию, которое наблюдается почти ежегодно с августа по ноябрь, а иногда начинается уже в марте и завершается только в декабре. В 1990 г. на фоне экстремально низкой температуры воды сопутствующее образование внутриводного льда продолжалось до начала января 1991 г.

Впервые пристальное внимание на него обратил А.Ф.Трешников: «В процессе нарастания и формирования припайного льда в Антарктике важное значение имеет такое специфическое и примечательное явление, как образование внутриводного льда» (Трешников, 1963, с. 19).

Распространено внутриводное ледообразование почти повсеместно, но не везде и не всегда завершается включением в толщу припайного льда, как в районе Мирного, ограничиваясь шуугообразным скоплением под припаем. Это зависит, по-видимому, от степени переохлаждения воды (Коротков, 1990а). Общеизвестными очагами образования переохлажденных вод являются стационарные полыньи. Неподалеку от обсерватории Мирный располагается одна из крупнейших полыней в Антарктике — шельфового ледника Шеклтона, площадь которой в период максимального развития в феврале достигает 30 тыс. км<sup>2</sup> (Романов, 1996).

Известны районы с еще более толстым однолетним припаем, также обязанным своим образованием активному внутриводному ледообразованию. К ним относится район абсолютно устойчивой, сохраняющейся даже зимой полыньи в заливе Терра-Нова (максимальная площадь до 7 тыс. км<sup>2</sup>), в северном углу которого, в бухте Жерлаш, толщина ординарного припая по данным измерений сотрудников ААНИИ с борта южно-корейского судна «Араон» в январе 2012 г. составляла 180—200 см и более. В районе станции Новолазаревская в вершине залива Ленинградский в середине ноября 1960 г. толщина однолетнего припая достигала 200—230 см (Дубровин, 1962). Местная стационарная полынья площадью свыше 4 тыс. км<sup>2</sup> тоже зачастую сохраняется зимой.

Однако главное, что роднит районы Мирного и Новолазаревской, — это самая эффективная разновидность внутриводного льда в виде почти пресных пластин размером с ладонь. Причиной его образования является, вероятно, переохлаждение при распреснении в результате поступления вод пресных эпителифовых озер оазиса Ширмахера в залив Ленинградский (Черепанов, Козловский, 1973б) и вод подледникового таяния на Мирном предположительно с востока из-под выводного ледника Хелен (Черепанов, Федотов, 2007).

Убедительное подтверждение возникновения этого феномена впервые удалось получить станцииному гидрологу 56-й РАЭ Н.И. Фомичеву в результате регулярного зондирования водной толщи с помощью современного комплекса SBE19 plus в постоянной гидрологической точке (ПГТ). Она располагается в восточной вершине глубоководного желоба в проходе Обь (66°33' ю.ш., 93°00,5' в.д.) на глубине около 120 м. Кристаллы внутриводного льда обнаруживались под припаем в течение почти всего периода с 13 июня по 15 декабря 2011 г. Наибольшая интенсивность их образования наблюдалась в сентябре, когда в результате понижения солености с обычных 34,3 до 30,5 ‰ переохлаждение слоя 5—25 м составило  $-0,2^{\circ}\text{C}$  (рис.1).

При нарастании припая на рейде Мирного в среднем до 160 см экстремальные значения его толщины колеблются от 193 см в 1990 г. до 130 см в 2013 г., среднеквадратическое отклонение составляет  $\pm 15$  см.

Разрушение припая происходит в начале следующего календарного года — в среднем 9 февраля. В пяти годах отмечался аномально ранний взлом уже во второй половине декабря, самый ранний — 15 декабря 1978 г. Самый поздний взлом состоялся 9 марта 1959 г. Однажды, в 2002 г., припай вообще не был взломан (этому событию на рис. 2 условно присвоена дата 13 марта). Показательно, что взлому не подвергся один из самых тонких припаев за всю историю Мирного, максимальная толщина которого зимой 2001 г. составляла всего 137 см. Летом 2002 г. он стоял до 50 см, достигнув затем на втором году существования 165 см. Взлом его произошел только 28 января 2003 г.

Межгодовая изменчивость толщины припая и сроков его окончательного разрушения на рейде Мирного (рис. 2) демонстрирует колебательно-циклический характер. Вместе с тем, бесспорно, что за последние полвека толщина припая немного уменьшилась, но при этом сроки его взлома несколько отделились — в среднем на 7 см и 10 суток соответственно.

Число средних и крупных положительных аномалий толщины (свыше 170 и 180 см) сократилось по десятилетиям с четырех до нуля, а число отрицательных аномалий (менее 150 и 140 см), напротив, возросло с одной до четырех. В начале нового тысячелетия сокращение толщины льда по сравнению с самыми холодными

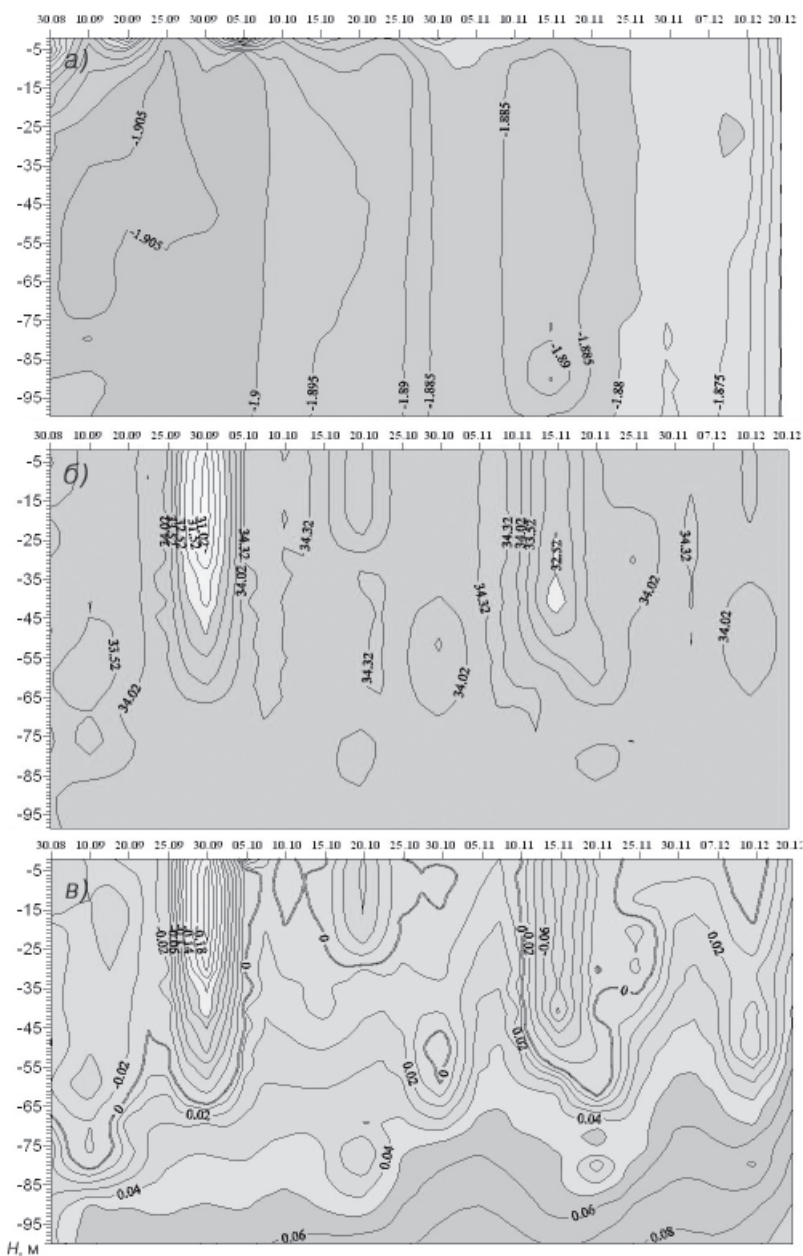


Рис. 1. Изменение температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ) (а), солёности ( $\%$ ) (б) водной толщи и ее переохлаждение ( $^{\circ}\text{C}$ ) (в) по данным измерений в ПГТ в проходе Обь на рейде Мирного за период 30 августа — 20 декабря 2011 г.

60-ми годами прошлого столетия составило в среднем около 10 % (с 166 до 154 см), а запаздывание взлома достигло одного месяца — 5 марта вместо 9 февраля по норме. Кстати, тождественное уменьшение толщины припая на 10 см (с 190 до 180 см) произошло с 1980 г. и в Арктике (Карелин, Карклин, 2012, с. 57).



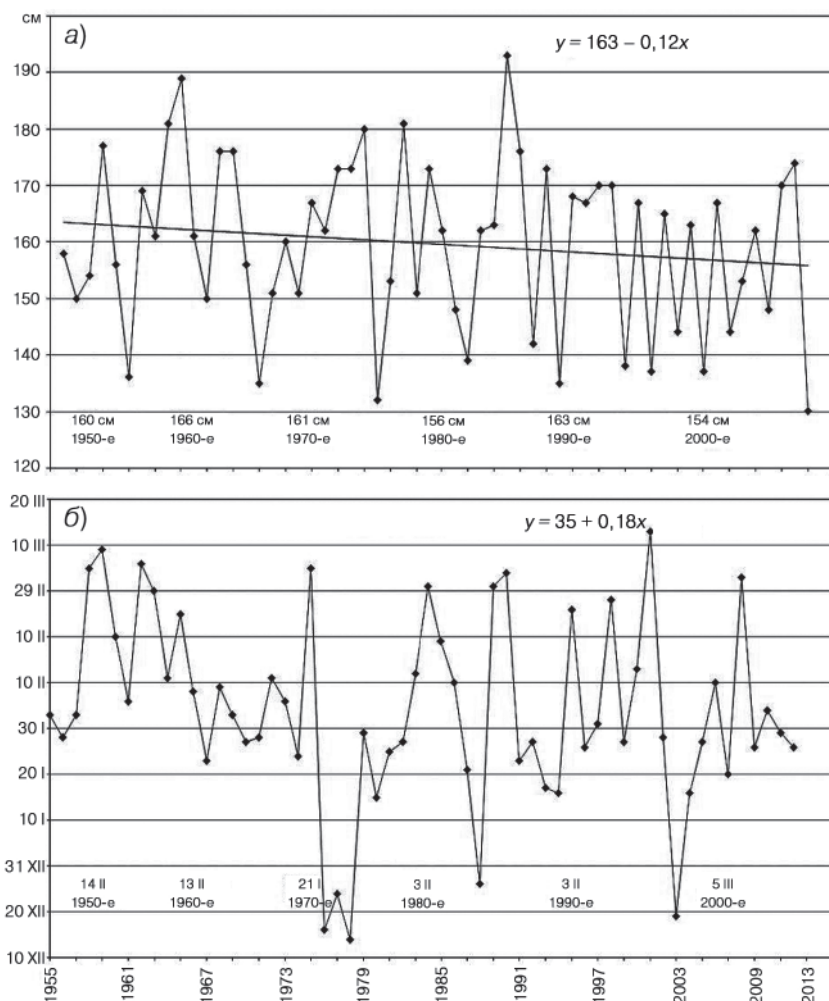


Рис. 2. Многолетняя изменчивость максимальной толщины припая (а) и сроков его окончательного разрушения (б) на рейде Мирного.

Вероятной причиной является повышение на Мирном, по данным [http://www.aari.aq/default\\_ru.html](http://www.aari.aq/default_ru.html), примерно на  $1^{\circ}\text{C}$  среднегодовой температуры воздуха, зависимость от которой нарастания припая достаточно велика (коэффициент корреляции  $R = -0,31$ ). Определенная роль также принадлежит снегу ( $R = -0,06$ ), который, в целом, ослабляет нарастание благодаря своим теплоизолирующим свойствам. В последние десятилетия заснеженность была несколько увеличена. Данное сочетание факторов соответствует повышенной циклонической активности зимой, которая, сменяясь летом ослабленной циклонической активностью, определяет поздние сроки взлома припая, отличающегося пониженной толщиной. Для прогностических целей теснота зависимости между максимальной толщиной припая на рейде Мирного и сроками его взлома недостаточна ( $R = -0,10$ ), по-видимому, из-за внутриводного ледообразования, которое искажает процесс естественного нарастания.



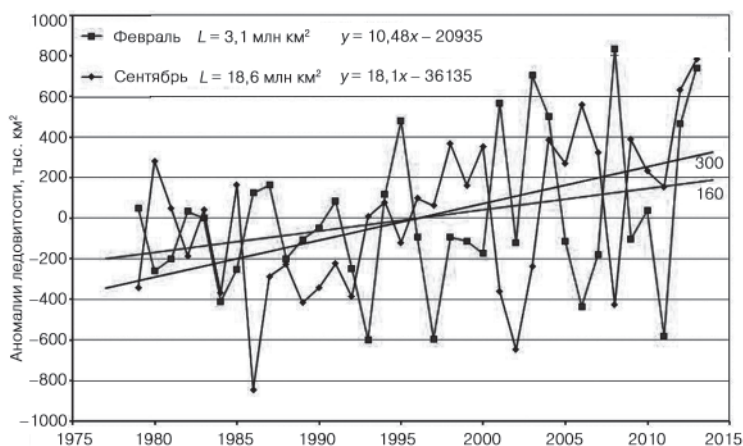


Рис. 3. Изменчивость ледовитости (в отклонениях от нормы) Южного океана в периоды минимального (февраль) и максимального (сентябрь) развития ледяного покрова за период 1979—2013 гг.

По результатам независимой обработки в МЦД-Б по морскому льду (ААНИИ) данных микроволновых измерений американских метеорологических спутников (<http://wdc.aari.ru/datasets/ssmi/data/south/extent/>) начиная с 1979 г. в Южной полярной области в отличие от Арктики обнаруживается некоторое увеличение морского льда (Гудкович и др., 2008; Коротков и др., 2011). По последним данным, его площадь к 2013 г. возросла в среднем на 300 тыс. км<sup>2</sup> в период максимального распространения в сентябре и на 160 тыс. км<sup>2</sup> в конце лета, в феврале (рис. 3).

Зимнее увеличение ледовитости, составляющее менее 2 % от нормы, равной 18,6 млн км<sup>2</sup>, обязано на две трети тихоокеанскому сектору (220 тыс. км<sup>2</sup>). Совершенно очевидно, что это тривиальный молодой лед, который образуется в прикромочной зоне и скоротечно вытает уже весной, поскольку летом в данном секторе наблюдается прямо противоположная тенденция сокращения ледяного покрова (–100 тыс. км<sup>2</sup>) и прогрессирующего очищения. Действительно заслуживающим внимания является увеличение на 5 % остаточной ледовитости Южного океана в феврале (среднемесячное значение 3,1 млн км<sup>2</sup>). Немаловажно, что этот факт подтверждается как традиционной спутниковой информацией в видимом диапазоне, так и подспутниковыми наблюдениями — судовыми и станционными. Решающая роль в этом увеличении принадлежит Атлантическому ледяному массиву (200 тыс. км<sup>2</sup>), который традиционно оппозиционен Тихоокеанскому массиву ( $R = -0,18$ ). Определенный вклад (60 тыс. км<sup>2</sup>) вносят моря индоокеанского сектора.

Тенденция повышения ледовитости в масштабах всего Южного океана наметилась после 1986 г. Тогда летом практически исчез Балленский массив в море Сомова, состоялись грандиозные отколы суперязыков шельфовых ледников Ларсена и Фильхнера в море Уэдделла и ледника Туэйтса в море Амундсена (Коротков, Романов, 1990), а площадь льда в сентябре была минимальной (17,7 млн км<sup>2</sup>). Окончательно данная тенденция оформилась в новом тысячелетии, в начале которого, кстати, также произошли отколы гигантских айсбергов — на этот раз от шельфового ледника Росса.

Увеличение остаточной ледовитости в Антарктике возможно только за счет незаурядного льда, наросшего зимой до 1,5 м и более, чтобы пережить последующий

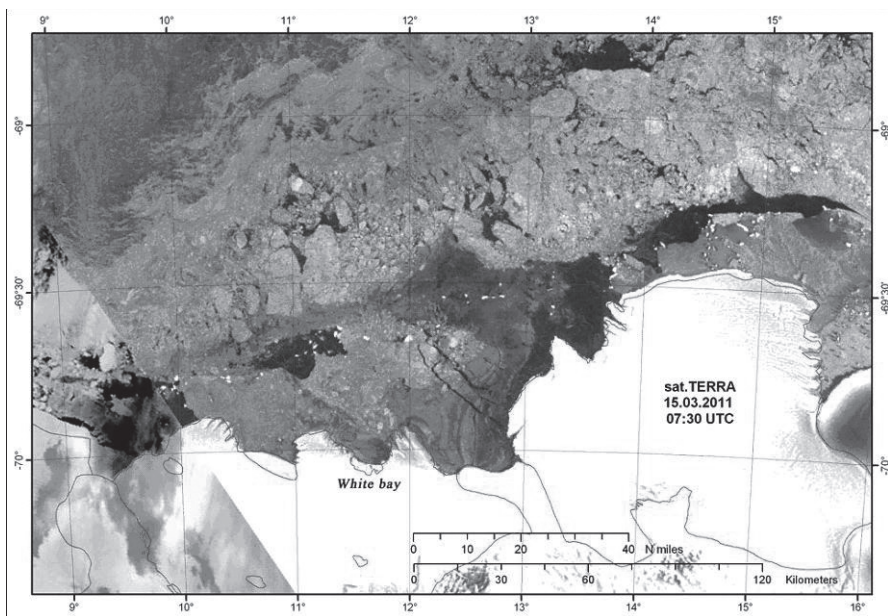


Рис. 4. Припай, сохранившийся в бухте Белая в районе станции Новолазаревская осенью 2011 г. период весенне-летнего таяния. Это либо старый дрейфующий лед «ядер» ледяных массивов, либо припай, в том числе однолетний, если он будет взломан поздно осенью. Отдаление сроков разрушения вплоть до сохранения припая не взломанным представляется ближайшей причиной наблюдаемого в Южном океане увеличения количества старого льда. С сопутствующим усложнением условий проведения морских операций РАЭ столкнулась с первых лет нового тысячелетия.

В 2000 г. в районе станции Новолазаревская в штатном месте выгрузки на ледниковый барьер в бухте Белая впервые с начала ее использования в 1986 г. не произошло окончательного разрушения припая. Сохранился его участок шириной всего 0,6 мили, но практически непреодолимой 2-метровой толщины, которая была обусловлена интенсивным внутриводным ледообразованием.

В 2011 г. ситуация повторилась, но уже вся бухта осталась скована припаем шириной не менее 4 мили (рис. 4). Однако самым неожиданным стало повторное сохранение этого теперь уже двухлетнего припая в 2012 г. На кромке толщина его составляла около 2,5 м, заснеженность — до 1 м, а вблизи барьера — свыше 3 м и около 1,5 м соответственно. Выгрузка вынужденно была вновь произведена восточнее бухты Белая, в вершине залива Ленинградский, в районе береговой базы индийской экспедиции (до 1968 г. база САЭ «Рубеж»). В середине апреля здесь произошло обрушение барьера, что привело к потере значительной части экспедиционного груза.

В 2002 г. в обсерватории Мирный впервые за всю ее полувековую историю в заливе Трешникова почти полностью сохранился не взломанным зимний припай 30-километровой ширины, что не позволило слить на станцию топливо. Вследствие этого в следующем, 2003 г. была вынужденно законсервирована на зиму станция Восток.

В 2003 г., вероятно, так и не взломался припай в заливе Мак-Мердо. При этом летом лед Тихоокеанского массива был экстремально смещен на запад и полностью покрывал море Росса вместо обычно развитой здесь гигантской полярной площади

до 0,5 млн км<sup>2</sup>. Эта ситуация повторилась в 2004 г., а в 2005 г. вновь сохранился припай в заливе Мак-Мердо, и американская экспедиция была вынуждена привлечь для обеспечения снабженческих операций мощный российский ледокол «Красин». Единственным историческим аналогом подобных сложных ледовых условий в море Росса является, очевидно, первая послевоенная экспедиция США 1946/47 г. — операция «Хайджамп».

С 2005 г. в районе станции Прогресс в заливе Прюдс отчетливо обозначились тенденции катастрофического возрастания числа айсбергов, увеличения примерно вдвое ширины образующегося здесь припая с режимно-обусловленной (соответствующей бровке шельфа), равной 25—30 км, до 50—55 км и отдаления в среднем на полмесяца (с января на февраль) сроков его окончательного взлома (Коротков и др., 2011).

Также с 2005 г. не взламывался припай шириной 25 км в вершине бухты Саннефьорд в районе соседней базы Дружная-4. Столь кардинальное изменение ледового режима юго-восточного побережья залива Прюдс связано с выдвиганием фронта шельфового ледника Эймери в северо-восточном направлении более чем на 50 км по сравнению с 1980 г. и сдерживания им генерального дрейфа льда и айсбергов на запад.

В начале апреля 2013 г. Саннефьорд окончательно превратился в недоступную ледниковую бухту, со всех сторон окруженную глетчерным льдом (рис. 5, см. цвет. вклейку). Сузившийся к тому времени до 14 км вход в бухту между разрастающимся ледником Эймери и выводным ледником Полар-Рекорд был закупорен айсбергом размером 10×15 км. Он образовался в результате откола языка выводного ледника Паблейкен в вершине Саннефьорда 26 марта 2013 г. В итоге конфигурация ледникового побережья в заливе Прюдс приобретает все больше сходства с существовавшей в 50-е годы прошлого века вплоть до катастрофического откола Эймери в 1964 г.

Следует также отметить окончательное восстановление к 1998 г. ранее полностью разрушившегося (не позднее 1976 г.) п-ова Челюскинцев на западной оконечности Западного шельфового ледника (Коротков, Федяков, 2001). Этот протяженный припайно-ледниковый выступ также блокирует западную адвекцию льда, образующего к востоку от полуострова локальный массив. В нем в конце марта 2011 г. несколько суток было зажато австралийское экспедиционное судно «Аврора».

С 2007 г. стала ежегодно покрываться припайным льдом акватория на месте раскрошившихся северных частей шельфового ледника Ларсена на северо-западе моря Уэдделла: между 64°30'—65° ю.ш. в январе 1995 г. и между 65—66° ю.ш. летом 2002 г.

Располагающийся здесь Атлантический массив 2—3-летнего льда, толщина которого в результате предположительно перманентного нарастания и интенсивного внутриводного ледообразования достигает 4—6 м (Коротков, Федяков, 1995), в 1998—2002 гг., казалось, был близок к полному вырождению. Однако в последующие годы массив в основном увеличивался и полностью блокировал побережье моря Уэдделла. Вблизи северо-восточной оконечности Антарктического п-ова в ноябре 2009 г. был зажат тяжелым льдом массива российский ледокол «Капитан Хлебников». Летом 2013 г. припай на месте ледника Ларсена не был взломан (рис. 6, см. цвет. вклейки), что возможно знаменует начало реставрации ледника на базе многолетнего припая.

Одновременно у южного побережья о. Жуэнвилль была зафиксирована исключительная ситуация сохранения вплоть до февраля припая, который установился осенью прошлого года (рис. 7). По данным НЭС «Академик Трёшников», он состоял из набивного старого льда «ядра» массива преобладающей толщиной 2—3 м, местами

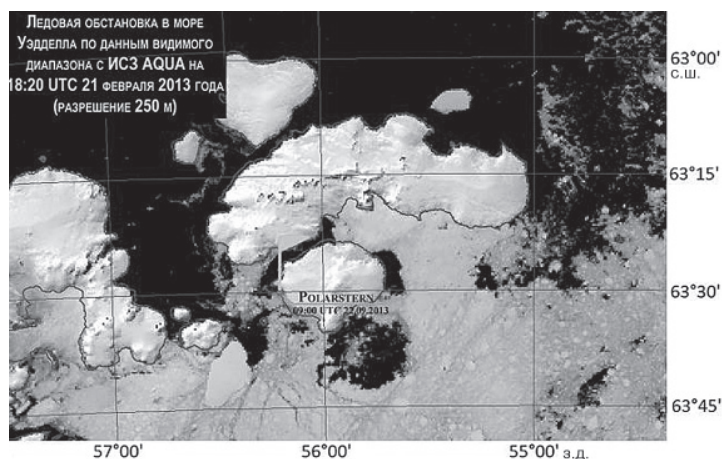


Рис. 7. Припай, сохранившийся у южного побережья о. Жуэнвилль в заливе Ферг оф Тей 21 февраля 2013 г.

достигающей 4,5 м. Поджатое состояние массива при этом обусловило аномально позднее очищение залива Эребус и Террор только в середине марта. Вероятно, в подобной ситуации здесь 13 февраля 1903 г. было раздавлено и затонуло судно «Антарктик» шведской экспедиции О. Норденшельда (Клепиков, 1963).

Летом 2008 г. не взломался практически весь образовавшийся зимой припай в море Космонавтов площадью около 60 тыс. км<sup>2</sup> и в западной половине моря Содружества площадью примерно 20 тыс. км<sup>2</sup>. Однако самым главным стала связанная с этим экстраординарная ситуация никогда ранее не наблюдавшегося сохранения сплошного пояса дрейфующего льда вдоль всего побережья индоокеанского сектора от моря Рисер-Ларсена до моря Дюрвиля. В результате остаточная ледовитость Южного океана достигла рекордного значения 3,9 млн км<sup>2</sup>. Летом 2011 г. припай в море Космонавтов и в западной половине моря Содружества вновь сохранился. Летом 2012 г. теперь уже двухлетний припай в море Космонавтов также почти не подвергся взлому.

В середине января 2009 г. непосредственно под нунатаком станции Ленинградская с вертолета был зафиксирован отел небольшого столового айсберга. Породил его молодой шельфовый ледник, образовавшийся из многолетнего припая, который стал формироваться здесь с 1988 г. и достиг к закрытию станции в апреле 1991 г. четырехлетнего возраста, а в 2009 г. соответственно 22-летнего возраста.

На момент организации станции в 1971 г. на этом месте также присутствовал молодой шельфовый ледник, который формировался из перманентно нарастающего многолетнего припая возрастом 10—12 лет, толщиной около 10 м (Черепанов, Козловский, 1973а) и возвышался над водой до 1,5 м. Однако в апреле 1978 г. он был полностью взломан и вынесен. Показательно, что повторное образование здесь многолетнего припая, который через два десятилетия превратился в шельфовый ледник, произошло одновременно с началом восстановления Балленского массива после его практического исчезновения летом 1986 и 1987 гг. Примечательно, что Балленский массив в новом тысячелетии отличается увеличенными размерами и зачастую блокирует даже летом район одноименных островов, тогда как ранее они всегда очищались. Поэтому при посещениях моря Сомова в январе 2008—2010 и 2014 гг. НЭС «Академик Федоров» воздерживалось углубляться в старый лед массива южнее 68-й параллели.

В конце декабря 2013 г. в море Дюрвиля, прежде малоледовитом и легко доступном, попало в полумесячный ледовый плен судно ДВНИГМИ «Академик Шокальский» (рис. 8, см. цвет. вклейку). Первопричиной этого происшествия стал припайно-айсберговый полуостров протяженностью 100 км, который сковывал бухту Коммонуэлт, где на мысе Денисон (67°00' ю.ш., 142°40' в.д.) в 1912—1913 гг. проходила историческая зимовка Дугласа Моусона. В то время здесь образовывался лишь ледяной заберег, который окаймлял мыс узкой полосой шириной не более 200 м (Моусон, 1967, с. 89).

Формирование припайного полуострова началось после того, как напротив бухты в конце марта 2011 г. застрял гигантский айсберг размером 60×20 км. Он заблокировал вынос огромной массы ледопродукции переохлажденных вод местной стационарной полыньи, сохраняющейся на протяжении круглого года из-за не прекращающихся ураганных ветров. В период усиления восточного ветра судно «Академик Шокальский» находилось с восточной, наветренной стороны данного полуострова и оказалось в пятне сплошного дрейфующего льда, плотно поджатого к припаю ветром и постоянным Прибрежным антарктическим течением. Этот тяжелый старый лед был принесен сюда с востока из «переполнившегося» Балленского массива в соседнем море Сомова.

Исключением из преобладающей в Южном океане тенденции повышения остаточной ледовитости до последнего времени являлся тихоокеанский сектор, где летом, напротив, количество льда в основном сокращалось.

С 1989 г. ранее недоступное море Беллингаузена в феврале — марте очень часто стало почти полностью очищаться. Ежегодному взлому и выносу начал подвергаться не только припай в заливе Маргерит, включая его вершину — залив Симонова, но и все крупные участки припайного льда, образующиеся в излучинах северного и западного побережий Земли Александра I. Прежде во всех этих районах периодически образовывался многолетний припай. В новом тысячелетии из-за исчезновения буферной зоны многолетнего припая стал разрушаться и собственно шельфовый ледник Уилкинса, сковывающий архипелаг Земли Александра. С 2007 г. очищение моря Беллингаузена происходит ежегодно. В марте 2013 г. здесь было зафиксировано абсолютное отсутствие морского льда.

В середине марта 1992 г. полностью очистилось также ранее труднодоступное море Амундсена. С 2009 г. деградация Тихоокеанского массива стала очевидной. Знаковым событием явилось окончательное разрушение в районе станции Русская характерного зубчатого выступа многолетнего припая между мысом Беркс и скоплением айсбергов на банке Аристова. При наличии этого выступа протяженностью около 60 км, затрудняющего западную прибрежную адвекцию льда, здесь традиционно складываются тяжелые условия для плавания.

Наконец, в 2011 г. «волна» очищения достигла непосредственно района станции Русская (120—160° з.д.). Впервые за полувековой период имеющихся данных спутниковых наблюдений была зафиксирована экстремальная ситуация практически полного исчезновения прибрежного пояса дрейфующего льда между мысами Дарт и Колбек. Остаточная ледовитость всего сектора достигла абсолютного минимума, составив 0,8 млн км<sup>2</sup>.

Кардинальные изменения претерпели ледовые условия у тихоокеанского побережья Антарктического полуострова (Лагун и др., 2010). По данным станции



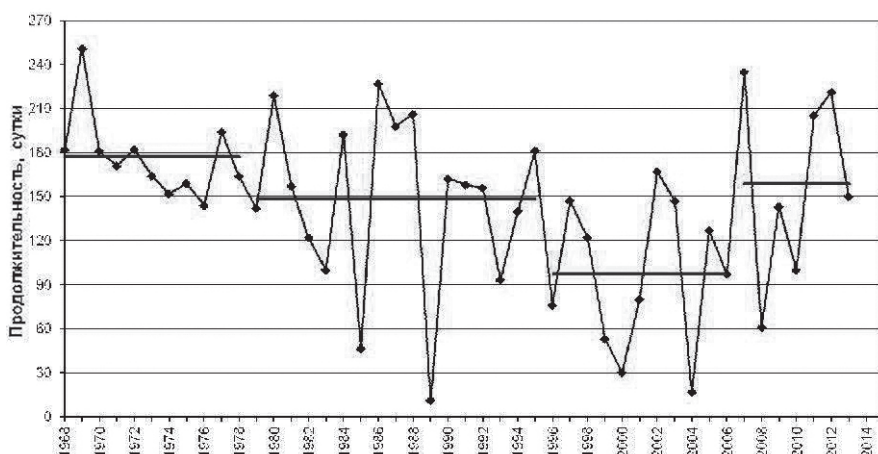


Рис. 9. Многолетняя изменчивость продолжительности ледового периода в районе станции Беллинсгаузен.

Беллинсгаузен, продолжительность ледового периода в районе Южных Шетландских островов за период 1968—2006 гг. сократилась в среднем с шести до трех месяцев (рис. 9), а толщина образующегося здесь припайного льда уменьшилась втрое — с 90 до 30 см. В период особенно «теплых» зим 1996—2006 гг. отсутствие окончательного замерзания бухты Ардли стало не просто нормой, а наблюдалось в абсолютном большинстве лет. Более того, в 2004 г. припай вообще не образовался.

Предполагается, что продолжительность и суровость ледового периода в районе станции Беллинсгаузен определяется интенсивностью происходящего обычно в мае затока в пролив Брансфилд вод и льдов из моря Уэдделла, который приводит к резкой активизации процессов местного ледообразования. Эффект усиливается при окружении о. Кинг-Джордж льдом со всех сторон. Последнее происходит, очевидно, в случае интенсификации циклонического круговорота моря Беллинсгаузена, которая сопровождается распространением зимой (в июне — июле) ледового языка из района залива Маргерит ( $65^{\circ}$  ю.ш.,  $70^{\circ}$  з.д.) в направлении пролива Дрейка.

Оба рассматриваемых процесса в период «теплых» зим были ослаблены и начали активизироваться с 2007 г., когда в районе Южных Шетландских островов началась реставрация прежнего ледового режима. К настоящему времени средняя продолжительность ледового периода приблизилась к полугоду, а бухта Ардли в большинстве лет вновь сковывается льдом на срок до трех месяцев припаем средней толщиной около 60 см, что являлось нормой для 70-х годов XX века.

Особенно неординарно развивались ледовые события в 2012 г. Они начались экстремально рано — 5 апреля, когда в бухту Ардли стал поступать старый лед из «тела» аномально разросшегося Атлантического массива, который уже к концу марта достиг Южных Оркнейских островов и угрожающе навис с востока над проливом Брансфилд. Этот лед толщиной свыше 2,5—3,0 м и заснеженностью 1,0—1,5 м на следующий день полностью заполнил бухту, чего ранее никогда не происходило. В результате попали в ледовый плен бразильская моторная яхта, которая затонула, и станционная баржа «Амдерма», освобожденная из льда только благодаря самоотверженности и мастерству зимовщиков 57-й РАЭ. НЭС «Академик Федоров» с большим трудом удалось слить на станцию топливо.

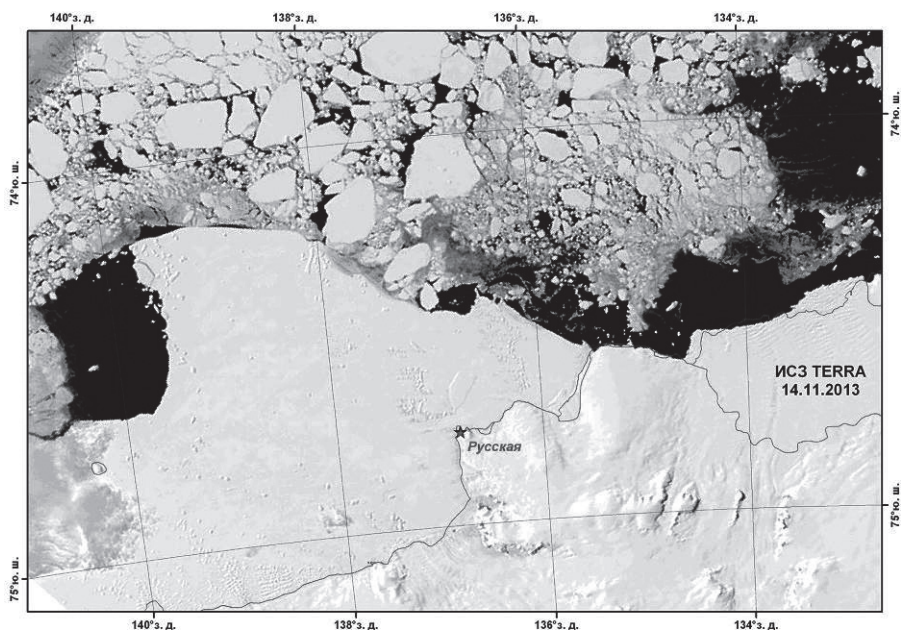


Рис. 10. Восстановившийся зимой 2013 г. характерный, «зубчатый» выступ припая у м. Беркс.

Возможно, что с реставрации ледового режима района Южных Шетландских островов начнется восстановление Тихоокеанского массива в целом. Первые признаки этого проявились зимой 2013 г. В середине июня в районе станции Русская состоялось восстановление разрушенного в 2009 г. припайного выступа у мыса Беркс (рис. 10), отождествляемого с тяжелыми ледовыми условиями. Кроме того, в середине сентября у западного побережья Антарктического полуострова произошло давно не наблюдавшееся становление припая в максимально возможных границах. Полностью замерз залив Маргерит, а также вся прибрежная акватория между островами Аделейд и Анверс по линии архипелага островов Биско.

Таким образом, в новом тысячелетии отчетливо обозначилась тенденция отдаления сроков разрушения антарктического припая вплоть до сохранения его не взломанным, что представляется основным механизмом наблюдаемого увеличения количества морского льда и сопутствующего усложнения условий плавания в Антарктике в отличие от Арктики. Этот процесс можно рассматривать как компенсационную реакцию на одновременное уменьшение толщины льда в результате потепления высоко сбалансированной южной полярной климатической системы, функционирующей в режиме универсального взаимодействия, когда причина и следствие постоянно меняются местами и обратные связи — реакции сред — оказываются столь же значимыми, как и вызвавшие их прямые воздействия.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гудкович З.М., Карклин В.П., Ковалев Е.Г., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е. (2008). Изменения морского ледяного покрова и других составляющих климатической системы в Арктике и Антарктике в связи с эволюцией полярных вихрей // Проблемы Арктики и Антарктики. № 1 (78). С. 48—58.



- Дубровин Л.И.* (1962). О развитии припая в районе станции Лазарев // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 33. С. 35—41.
- Карелин И.Д., Карклин В.П.* (2012). Припай и заприпайные полыньи арктических морей Сибирского шельфа в конце XX — начале XXI века. —СПб: ААНИИ. 180 с.
- Клепиков В.В.* (1963). Гидрология моря Уэдделла // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 17. С. 45—93.
- Коротков А.И.* (1990а) О механизме образования внутриводного льда в Антарктике // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 86. С. 105—116.
- Коротков А.И.* (1990б) Закономерности пространственно-временной изменчивости антарктических стационарных полыней // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 114. С. 25—32.
- Коротков А.И.* (1995). Основные итоги и перспективы исследований ледового режима Южного океана // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 70. С. 84—103.
- Коротков А.И., Романов А.А.* (1990). Динамика ледовых условий прибрежной зоны Антарктики // Материалы гляциол. исслед. Т. 68. С. 126—133.
- Коротков А.И., Федяков В.Е.* (1995). Адвекция и морфология льда в круговороте Уэдделла / В сб.: Результаты исследований Антарктики. —СПб: Гидрометеоздат, С. 62—67.
- Коротков А.И., Федяков В.Е.* (2001). Стационарная полынья в заливе Прюдс // Труды ААНИИ. Т. 443. С. 146—155.
- Коротков А.И., Смоляницкий В.М., Фролов И.Е.* (2011). Современное изменение ледяного покрова Южного океана и его сопряженность с ледовитостью в Арктике // Океанография и морской лед. —М.—СПб: ООО «Паулсен», с. 422—426.
- Лагун В.Е., Клепиков А.В., Данилов А.И., Коротков А.И.* (2010). О потеплении в районе Антарктического полуострова // Проблемы Арктики и Антарктики. № 2 (85). С. 90—101.
- Леденев В.Г.* (1964). Охлаждение прибрежных антарктических вод в районах заприпайных и приледниковых полыней // Проблемы Арктики и Антарктики. Вып. 17. С. 46—53.
- Моусон Д.* (1967). Родина снежных бурь / Пер. с англ. —М.: Мысль. 334 с.
- Припай Восточной Антарктиды (1997) // Труды Сов. антаркт. экспед. Т. 63. 130 с.
- Романов А.А.* (1996). Ледовые условия плавания в Южном океане // Бюл. ВМО. Вып. № 35. 117 с.
- Трешников А.Ф.* (1963). Особенности ледового режима Южного Ледовитого океана // Тр.Сов. антаркт. экспед. Т. 21. 237 с.
- Черепанов Н.В., Федотов В.И.* (2007). Внутриводное ледообразование у побережья Антарктиды // Проблемы Арктики и Антарктики. № 3 (77). С. 85—88.
- Черепанов Н.В., Козловский А.М.* (1973а). Многолетний припай в районе станции Ленинградской // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. № 85. С. 54—57.
- Черепанов Н.В., Козловский А.М.* (1973б). Осеннее образование внутриводного льда в районе шельфового ледника Лазарева // Информ. бюл. Сов.антаркт. экспед. № 86. С. 36—39.