

СРЕДНИЕ МНОГОЛЕТНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАРУШЕНИЙ СПЛОШНОСТИ ЛЬДА ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ НА ТРАДИЦИОННЫХ МАРШРУТАХ ПЛАВАНИЯ В ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

канд. геогр. наук С.М. ЛОСЕВ, д-р геогр. наук Ю.А. ГОРБУНОВ,
канд. геогр. наук Л.Н. ДЫМЕНТ

ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: gua@ari.ru

Из всех морей Российской Арктики, расположенных к востоку от Новой Земли, Карское море является пока единственным, где уже более 30 лет плавание судов осуществляется круглогодично. В зимний период в юго-западной части моря современные транспортные суда самостоятельно следуют в дрейфующем льду из Баренцева моря до Енисейского залива без ледокольной проводки. Дальнейшее их движений в Дудинку и обратно происходит по каналу, проложенному в припае Енисейского залива ледоколом и поддерживаемому им от замерзания в течение всей зимы.



Рис. 1. Традиционные маршруты ледового плавания в юго-западной части Карского моря и расположенные на них квадраты для расчета анализируемых характеристик.

В зависимости от ледовых условий, сложившихся в юго-западной части моря, плавание совершается по одному из четырех традиционных маршрутов (рис. 1). Для трех из них участок между точками 3 и 7 длиной около 300 км является общим. Самую большую длину в дрейфующем льду собственно Карского моря (близкую к 1050 км) имеет маршрут III, проходящий через точки 1, 4, 5, 3, 7, а самым коротким является маршрут IV от мыса Желания до Енисейского залива (крайние точки 6 и 7). Его длина близка к 500 км. Протяженность двух других маршрутов I и II, следующих через точки 1, 2, 3, 7 и 1, 3, 7, почти одинакова и соответственно составляет около 950 и 900 км. Координаты крайних точек маршрутов и выделенных на них участков приведены в табл. 1.

Таблица 1

Географические координаты крайних точек участков традиционных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря

№ точки	Широта	Восточная долгота
1	70°35'	58°08'
2	71°27'	66°40'
3	74°06'	70°49'
4	72°50'	57°38'
5	74°09'	59°08'
6	77°02'	68°53'
7	73°36'	80°20'

При форсировании дрейфующего ледяного покрова по любому из приведенных маршрутов по возможности используются нарушения сплошности льда (НСЛ), имеющиеся также разрывами, если их ориентация близка к направлению пути следования судна. Чем больше протяженность пути по разрывам, тем меньше затраты времени на плавание и тем значительнее его экономическая эффективность.

Возможность реализации успешного плавания судов в сплоченных льдах с использованием НСЛ убеждает в целесообразности учета климатических характеристик разрывов при планировании морских операций в холодное время года (Brestkin et al., 1995). Такие характеристики в данной работе рассчитаны на основе параметров НСЛ, определяемых по снимкам малого разрешения, которые поступают с искусственных спутников Земли (ИСЗ) в режиме непосредственной передачи в инфракрасном и видимом диапазонах.

Наименьшее значение пороговой ширины разрывов, дешифрируемых на этих снимках, составляет около 500 м (Бушуев, 1991). Таким образом, получаемые по снимкам сведения относятся к наиболее крупным нарушениям сплошности льда в море.

Оцифровка (сколка) НСЛ, выявленных при их дешифрировании на снимках, осуществляется с использованием дигитайзера. В ходе ее выполнения рассчитываются координаты точек, которые выбираются на скальваемом разрыве на достаточно малых расстояниях (4–7 мм в масштабе снимка — 22–38 км фактически) одна от другой с таким расчетом, чтобы отрезки между ними можно было считать прямолинейными.

По координатам концов элементарных отрезков вычисляются значения их длины l_i и направления α_i , которые заносятся в электронный архив, где они за каждое наблюдение представлены отдельным файлом. При этом под данными одного наблюдения понимается совокупность всех парных значений l_i и α_i , полученных на рассматриваемой акватории за одну дату.

Среднее количество наблюдений в одном квадрате на традиционных маршрутах плавания за все годы с исходными данными

Маршрут	Месяцы							Среднее на маршруте за все месяцы
	XI	XII	I	II	III	IV	V	
I	9	27	35	38	63	48	26	35
II	10	30	37	43	71	59	39	41
III	8	30	31	39	57	56	48	38
IV	22	49	55	64	95	91	58	62
Среднее за месяц по всем маршрутам	12	34	39	46	72	63	43	44

Климатические характеристики НСЛ с использованием данных электронного архива рассчитаны за каждый месяц с ноября по май по квадратам 50×50 км, расположенным на традиционных маршрутах плавания (см. рис. 1). Число лет с исходными данными за указанные месяцы несколько различается и увеличивается с 17 в ноябре до 22 в мае. Количество наблюдений, осредненное по квадратам каждого маршрута, в ноябре невелико, затем оно возрастает от месяца к месяцу и в марте на всех маршрутах становится наибольшим (табл. 2). Далее к маю количество наблюдений уменьшается.

Такой ход изменения количества наблюдений вызван тем, что крупные разрывы в дрейфующем льду начинают формироваться только при достижении им стадии серо-белого. Если на севере юго-западной части Карского моря это происходит в основном в первой декаде ноября, то южнее — лишь во второй. Случается, что на юге рассматриваемой акватории в третьей декаде ноября еще отмечаются зоны чистой воды. Уменьшению числа наблюдений в квадратах в осенний период способствует и частое закрытие ледяного покрова на снимках ИСЗ плотной облачностью. В марте, когда в море преобладает однолетний лед, а повторяемость дней с плотной облачностью невелика, разрывы на спутниковых снимках часто наблюдаются в пределах всей акватории региона и изображаются особенно отчетливо. В результате и возникает максимум числа наблюдений в данном месяце на всех маршрутах.

В апреле и особенно в мае, в связи с распадом полей сморози льда и увеличением общей его раздробленности, появляются зоны с отсутствием разрывов, что приводит к уменьшению количества наблюдений с фиксированием НСЛ.

По числу наблюдений на маршрутах плавания выделяется маршрут IV, на котором среднее их количество в квадрате в 1,5–1,8 раза больше, чем на трех других. Среднее число наблюдений в квадрате, рассчитанное по совокупности данных всех маршрутов за все годы, равно 44.

При планировании и реализации морских операций в зимний период из всех сведений о НСЛ наибольший интерес представляют те из них, которые относятся к попутным разрывам. Обобщение опыта плавания ледоколов в сплоченных льдах (Фролов, Клячкин, 2001) показало, что разрывы рационально использовать, если их ориентация отличается от генерального курса следования судна α_w не более чем на 30° , то есть попутными можно считать разрывы, направление которых α_i попадает в интервал $\alpha_w \pm 30^\circ$.

Выясним, насколько неоднозначны возможности использования попутных разрывов на традиционных маршрутах плавания. С этой целью введем характеристики, которые можно использовать как количественные показатели этих НСЛ.

Анализ данных предварительных расчетов показал, что встречаются случаи, когда в конкретном наблюдении среди элементарных отрезков разрывов в квадрате нет ни одного с ориентацией α_j , попадающей в интервал попутных направлений $\alpha_w \pm 30^\circ$. Следовательно, в число вводимых характеристик прежде всего необходимо включить такую, которая позволяла бы количественно оценивать возможность присутствия попутных разрывов на определенном участке маршрута. Данному условию вполне соответствует повторяемость случаев (наблюдений) с наличием в квадрате зафиксированных элементарных отрезков НСЛ попутного направления. Далее этот показатель будем называть более кратко: повторяемость случаев присутствия попутных разрывов.

В качестве второго климатического показателя попутных НСЛ примем среднюю величину их суммарной протяженности в квадрате.

Приведем суть расчета выбранных характеристик и проанализируем результаты их вычисления.

Повторяемость случаев присутствия попутных разрывов P , % — эмпирическая оценка вероятности факта присутствия НСЛ попутного направления независимо от их количества или протяженности. Для заданного месяца k -го года в j -м квадрате величина $P_{j,k}$ находится по выражению

$$P_{j,k} = (n_w / n) \cdot 100.$$

Здесь n — число всех наблюдений с разрывами в квадрате, n_w — число наблюдений, в каждом из которых в том же квадрате за то же время установлено присутствие попутных разрывов (хотя бы одного).

Средняя многолетняя повторяемость случаев фиксирования попутных разрывов P_j в j -м квадрате за рассматриваемый месяц вычисляется по значениям $P_{j,k}$ как средняя арифметическая величина за N лет:

$$P_j = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N P_{j,k}.$$

Таким путем климатические значения повторяемости P_j в квадратах на маршрутах плавания получены для каждого месяца с ноября по май. В качестве примера на рис. 2 приведены результаты расчета за апрель. Из них следует, что средняя многолетняя повторяемость случаев присутствия попутных разрывов весьма изменчива в пространстве. Так, на вдольбереговых участках маршрутов у полуострова Ямал (участок 2–3) и у архипелага Новая Земля (участок 1–4–5) ее значения на 40–60 % больше, чем на участках 1–2 или 5–3, направление которых, в отличие от направления предыдущих, близко к широтному.

Осредним по участкам маршрутов рассчитанные в квадратах климатические значения повторяемости случаев присутствия попутных разрывов P_j .

$$P = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M P_j,$$

где M — число квадратов на участке.

Вычисленные за каждый месяц средние значения P представлены в табл. 3. Здесь же указаны наименьшие (P_{\min}) и наибольшие (P_{\max}) климатические значения повторяемости в квадратах, отображающие диапазон вариации величины P_j на участке в результате ее пространственной изменчивости. В последнем столбце помещены повторяемости, осредненные на участках за все месяцы с наблюдениями.



Рис. 2. Климатическая повторяемость случаев присутствия попутных разрывов в квадратах 50×50 км на традиционных маршрутах плавания в юго-западной части Карского моря в апреле.

Таблица 3

Средняя многолетняя повторяемость случаев присутствия попутных разрывов и диапазоны ее изменения на участках традиционных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря

Маршрут	Участок	Величина	Месяцы							Весь период наблюдений
			XI	XII	I	II	III	IV	V	
I	1–2	P		54	55	47	55	61	72	57
		$P_{\min} - P_{\max}$		39–68	48–67	32–64	30–74	43–80	62–82	
	2–3	P		72	86	74	83	82	62	77
		$P_{\min} - P_{\max}$		58–84	75–97	60–90	72–93	60–94	46–73	
II	1–3	P		51	56	62	65	74	74	64
		$P_{\min} - P_{\max}$		33–65	38–73	43–74	48–83	62–84	64–86	
III	1–4–5	P		69	76	81	81	75	73	76
		$P_{\min} - P_{\max}$		61–79	59–88	69–96	71–95	56–95	61–81	
	5–3	P	61	55	51	51	49	51	71	56/55
		$P_{\min} - P_{\max}$	38–78	47–66	42–64	38–63	41–57	42–68	63–85	
I, II, III	3–7	P	46	59	44	48	52	57	60	52/53
		$P_{\min} - P_{\max}$	33–62	50–70	27–54	31–58	33–70	40–76	53–68	
IV	6–7	P	46	65	58	64	62	65	73	62/65
		$P_{\min} - P_{\max}$	28–59	52–76	36–77	41–86	47–78	51–82	61–80	

Примечание. В ноябре на участках 1–2, 2–3, 1–3, 1–4–5, в связи с малым количеством наблюдений, а в некоторых квадратах и полным их отсутствием, обобщенные климатические значения повторяемости P нельзя считать достоверными, и в таблице они не приводятся. Средние значения для участков 5–3, 3–7 и 6–7 рассчитаны с учетом данных ноября (приведены над чертой) и без их учета (приведены под чертой).

По данным табл. 3 установлено, что между экстремальными климатическими значениями повторяемости случаев присутствия попутных разрывов P_{\min} и P_{\max} на участках маршрутов, с одной стороны, и осредненной в его пределах повторяемостью P , с другой, существует довольно тесная статистическая связь с коэффициентами линейной корреляции 0,93 и 0,95, аппроксимируемая следующими уравнениями:

$$P_{\min} = 1,056P - 17,8,$$

$$P_{\max} = 0,907P + 17,0.$$

Средние квадратические погрешности рассчитываемых по уравнениям значений P_{\min} и P_{\max} равны соответственно 4,8 и 3,7 %.

По повторяемости случаев присутствия попутных разрывов на участках маршрутов выделяются три их группы: с повышенными, средними и пониженными ее значениями. В первую из них входят участки 2–3 и 1–4–5, на которых осредненные за все месяцы значения P составляют соответственно 77 и 76 %. Поскольку в каждом наблюдении сведения о НСЛ содержатся за 1 день, то при такой повторяемости попутные разрывы в квадратах данных участков в течение месяца присутствуют не менее 20 дней. Климатические значения средней месячной повторяемости P на участках первой группы с января по май варьируют от 62 до 86 %, а в квадратах — от 46 до 97 %.

Вторая группа представлена участками 1–3 и 6–7. Здесь осредненные по ним за период наблюдений месячные значения климатической повторяемости случаев присутствия попутных разрывов равны 64 и 62 % соответственно, что на 12–15 % меньше, чем в первой группе. Число дней с попутными разрывами в квадратах за месяц в среднем близко к 18. Диапазон изменения средней месячной климатической повторяемости на участках составляет 46–74 %, а в квадратах — 28–86 %.

В третьей группе объединены оставшиеся участки 1–2, 5–3 и 3–7. Средние месячные повторяемости случаев присутствия попутных разрывов здесь могут быть меньше 50 %. Такая ситуация по одному разу отмечается на участках 1–2 (в феврале) и 5–3 (в марте), а на участке 3–7 — трижды (в ноябре, январе и феврале). Значения осредненных по участкам за все месяцы повторяемостей равны соответственно 57, 56 и 52 %, что в среднем на 21 % меньше, чем в первой группе, и на 8 % — чем во второй. Обобщенный диапазон изменения климатических средних месячных значений P на участках составляет 44–72 %, а в квадратах 27–85 %.

Группы участков маршрутов различаются также внутрисезонным ходом изменения среднемесечной повторяемости случаев с присутствием попутных разрывов. На участках первой группы наименьшие значения P отмечаются в декабре и мае, а наиболее высокие — в январе (участок 2–3) и феврале–марте (участок 1–4–5). Ход изменения повторяемости в третьей группе участков в определенной мере противоположен ее ходу в первой группе. Здесь в декабре значения P относительно повышены. Затем они несколько понижаются, но с февраля–марта снова растут и в мае достигают максимума. Во второй группе участков минимумы сдвинуты на ноябрь–декабрь, а максимумы проявляются в апреле и мае. В мае различия между значениями P всех участков минимальны и не превышают 14 %. Не велики они и в декабре (до 21 %). Максимальная разность (42 %) приходится на январь (между участками 2–3 и 3–7). В феврале–апреле различия повторяемости на участках первой и третьей групп остаются значительными и достигают 31–34 %.

Повторяемость случаев с присутствием попутных разрывов в квадратах участков маршрута во многом определяется его направлением α_w относительно модального направления α_m нарушений сплошности льда в зоне плавления. За модальное направ-

ление α_m принимается то направление, при котором в скользящем интервале $\alpha_i \pm 20^\circ$ при последовательном изменении α_i через 1° от 0 до 180° суммарная протяженность элементарных отрезков разрывов с направлениями, попадающими в этот интервал, оказывается наибольшей. Сам интервал $\alpha_m \pm 20^\circ$ именуется модальным. При совпадении направлений α_w и α_m все разрывы модального интервала являются составной частью разрывов попутного интервала $\alpha_w \pm 30^\circ$.

С увеличением разности направлений $|\alpha_m - \alpha_w|$ величина угла перекрытия попутного интервала модальным уменьшается. При этом и частота фиксирования попутных разрывов в квадратах маршрута уменьшается. Если указанная разность достигает 50° , перекрытие между интервалами уже отсутствует, имеется только одна общая их граница. Наиболее низкие значения P_j в квадратах отмечаются в том случае, когда разность направлений α_m и α_w близка к 90° .

Согласно ранее выполненным исследованиям (Адамович, 1987; Карелин, Карелин, 2012), в юго-западной части Карского моря модальная ориентация разрывов в прибрежных зонах у полуострова Ямал и у архипелага Новая Земля близка к генеральному направлению береговой черты. Такое же направление имеют и маршруты на участках 2–3 и 1–4–5. Это тот случай, когда $\alpha_w \approx \alpha_m$. Соответственно, повторяемость случаев присутствия попутных разрывов здесь повышена.

В зонах дислокации участков третьей группы климатическая модальная ориентация НСЛ в квадратах близка к направлению продольной оси региона. На участках 5–3 и 3–7 она отклоняется от направления маршрута преимущественно на $40\text{--}65^\circ$, а на участке 1–2 — на $35\text{--}70^\circ$.

При разности направлений $\alpha_w - \alpha_m$ от 40 до 50° , как было показано выше, небольшая часть разрывов модального интервала может входить в состав попутных. Однако при $|\alpha_m - \alpha_w| > 50^\circ$ они в попутный интервал уже не попадают. В итоге повторяемость случаев присутствия попутных НСЛ на данных участках имеет пониженные значения.

Теперь обратимся к средней многолетней повторяемости случаев с присутствием попутных разрывов, рассчитанной за каждый месяц по полным маршрутам плавания. Полученные результаты (рис. 3) свидетельствуют о том, что на всех маршрутах климатическая средняя месячная повторяемость P от начала периода наблюдений (декабрь) к его концу (май) в целом увеличивается. При этом она составляет более 50 %, а на маршрутах I, III, IV с декабря по май в пяти случаях из шести превышает 60 %. Значения $P < 60\%$ отмечаются только в январе (маршруты III и IV) и в феврале (маршрут I). На маршруте II, в отличие от остальных, с декабря по март климатическая средняя месячная повторяемость не достигает 60 %. Однако в апреле она увеличивается до 68 %, превысив значения на других маршрутах.

Различия между повторяемостью на маршрутах наиболее значительны в декабре–январе и составляют 10–11 %. Далее они уменьшаются и в марте оказываются наименьшими (не превышают 5 %). Затем разность между значениями P снова возрастает, доходя до 8 % в мае.

Таким образом, повторяемость случаев присутствия попутных разрывов на маршрутах плавания в разные месяцы довольно неравнозначна. Это не может не учитываться при организации морских операций в зимнее время. В табл. 4 для каждого месяца указаны маршруты, которые являются наиболее благоприятными для обнаружения и использования попутных НСЛ. Приведена также и средняя повторяемость случаев их присутствия P .

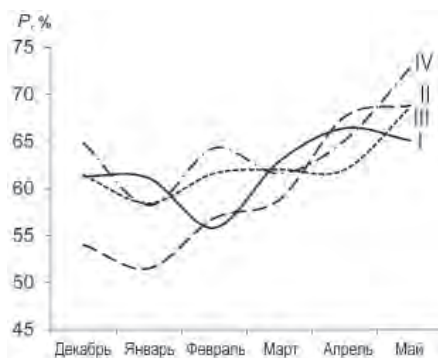


Рис. 3. Внутрисезонный ход изменения климатической среднемесячной повторяемости случаев присутствия попутных разрывов на маршрутах плавания.

Таблица 4

Предпочтительные маршруты плавания по повторяемости случаев присутствия попутных разрывов

Характеристики маршрутов	Месяц					
	XII	I	II	III	IV	V
Предпочтительные маршруты	IV	I	IV	I III	II I	IV
Повторяемость P , %	64,8	61,1	64,3	62,9 62,0	67,6 66,4	72,8

В марте и в апреле выделяются два маршрута с близкими значениями P . В целом по вероятности присутствия попутных разрывов наиболее благоприятными являются маршруты I и IV. Они входят в число предпочтительных по три раза, тогда как маршруты II и III только по одному. Однако окончательный вывод по этому поводу будет сделан после анализа данных следующей характеристики.

Протяженность попутных разрывов L , км — совокупная длина элементарных отрезков НСЛ, направление которых α_i попадает в попутный интервал $\alpha_w \pm 30^\circ$.

При расчете среднего многолетнего значения L сначала в каждом заданном на маршруте j -м квадрате вычисляется осредненная по числу наблюдений длина совокупности элементарных отрезков попутного направления за рассматриваемый месяц k -го года:

$$l_{j,k} = \frac{1}{M_{w,k}} \sum_{i=1}^{n_w} l_{i,w}$$

Здесь $l_{i,w}$ — длина элементарного отрезка попутного направления; n_w — число таких отрезков; $M_{w,k}$ — число наблюдений с зафиксированными попутными разрывами в квадрате за данный месяц k -го года.

Средняя многолетняя протяженность попутных разрывов в квадрате в том же месяце L_j вычисляется по значениям $l_{j,k}$ как средняя арифметическая величина за N лет с наблюдениями. В свою очередь по значениям L_j находится климатическая протяженность совокупности разрывов L , осредненная для заданного участка или маршрута в целом по числу расположенных на них квадратов.

Между рассчитанными по участкам маршрутов средней климатической протяженностью попутных разрывов L и ее наименьшими (L_{\min}) и наибольшими (L_{\max})

значениями в квадрате участков (табл. 5), как и при анализе повторяемости случаев присутствия НСЛ попутного направления, выявлена статистическая связь. Однако она не столь тесная, как у предыдущей характеристики. Коэффициенты корреляции L_{\min} с L и L_{\max} с L составляют соответственно 0,73 и 0,86. Аналитически связь выражается уравнениями

$$L_{\min} = 0,630L - 1,30,$$

$$L_{\max} = 1,408L + 0,97.$$

В соответствии с ними величина диапазона различия климатической протяженности (L_j) в квадратах участка равна

$$\Delta L = 0,778L + 2,27.$$

С увеличением осредненной длины разрывов на участке (L) ΔL возрастает.

Аналогичная оценка величины диапазона повторяемости случаев присутствия попутных разрывов $\Delta P = P_{\max} - P_{\min}$ показала, что с увеличением среднего значения P на участке эта разность уменьшается, но уменьшение весьма незначительное.

Таблица 5

Средняя многолетняя протяженность попутных разрывов на участках традиционных маршрутов плавания в юго-западной части Карского моря и диапазоны изменения ее значений, рассчитанные в квадратах данных участков

Маршрут	Участок	Величина	Месяцы							Весь период наблюдений
			XI	XII	I	II	III	IV	V	
I	1-2	L		13,6	18,1	14,1	19,7	19,6	22,6	17,7
		$L_{\min} - L_{\max}$		7-23	6-23	4-22	7-34	13-30	16-27	
	2-3	L		28,0	36,3	32,0	27,3	29,7	22,2	29,3
		$L_{\min} - L_{\max}$		19-41	14-61	16-41	18-39	16-44	13-30	
II	1-3	L		16,5	20,9	22,9	29,2	28,6	30,0	24,7
		$L_{\min} - L_{\max}$		5-33	10-27	12-38	16-55	19-38	15-48	
III	1-4-5	L		27,5	26,9	32,4	34,3	27,6	24,5	28,9
		$L_{\min} - L_{\max}$		17-40	16-39	24-40	23-43	19-38	16-31	
	5-3	L	22,7	18,9	19,4	14,7	18,1	20,7	29,9	20,6/20,3
		$L_{\min} - L_{\max}$	5-37	12-30	15-25	12-16	14-21	13-27	26-33	
I, II, III	3-7	L	17,3	17,2	13,2	15,3	13,5	16,2	16,3	15,6/15,3
		$L_{\min} - L_{\max}$	8-29	12-22	10-16	9-24	7-19	11-24	13-18	
IV	6-7	L	17,3	24,2	21,4	22,4	23,7	23,5	24,3	22,4/23,2
		$L_{\min} - L_{\max}$	4-33	14-31	10-35	8-37	15-37	11-39	10-37	

Примечание. В ноябре на участках 1-2, 2-3, 1-3, 1-4-5 в связи с малым количеством наблюдений, а в некоторых квадратах и полным их отсутствием, обобщенные климатические значения протяженности L нельзя считать достоверными и в таблице они не приводятся. Средние значения для участков 5-3, 3-7 и 6-7 рассчитаны с учетом данных ноября (приведены над чертой) и без их учета (приведены под чертой).

Осредненная по участкам маршрутов за каждый месяц климатическая протяженность НСЛ имеет много общего с климатической повторяемостью случаев их присутствия P . По значениям L и внутрисезонному ходу их изменения выделяются те же три группы участков. На вдольбереговых участках 2-3 и 1-4-5, представляющих первую группу, протяженность попутных разрывов, как и повторяемость P , повышена. Осредненные за все месяцы многолетние значения L на обоих участках

одинаковы и равны 29 км, что составляет 58 % от длины маршрута в пределах квадрата. Внутрисезонный ход изменения протяженности L характеризуется увеличением ее значений от начала зимы до максимальных в январе и марте и последующим их уменьшением до минимума в мае.

Средняя месячная климатическая протяженность попутных НСЛ в квадратах участков второй группы близка к 25 км на участке 1–3 и к 22 км на участке 6–7. Указанные значения протяженности составляют 50 и 40 % от длины участка маршрута в квадрате. Ход изменения величины L во времени отличается от такового на других участках меньшими внутрисезонными колебаниями и в целом ее увеличением от начала зимнего периода к маю.

На участках третьей группы 1–2, 5–3, 3–7 суммарная протяженность попутных разрывов в квадратах, осредненная за все месяцы, понижена и составляет соответственно 18, 21, 16 км (36, 42, 32 % от длины маршрута в квадрате). Внутрисезонный ход ее изменения, как и в случае с повторяемостью случаев присутствия попутных разрывов P , противоположен его ходу на участках первой группы. В начале зимы значения L уменьшаются, а во второй половине увеличиваются и в апреле–мае снова становятся повышенными.

Наличие некоторой аналогии в распределении по участкам маршрутов повторяемости случаев присутствия попутных разрывов и их суммарной протяженности, так же как и в изменении этих показателей во времени могло проявиться только при существовании между ними взаимосвязи (рис. 4). Анализ данных показал, что коэффициент линейной корреляции L с P равен 0,91, а сама связь аппроксимируется уравнением

$$L = 0,466P - 6,6.$$

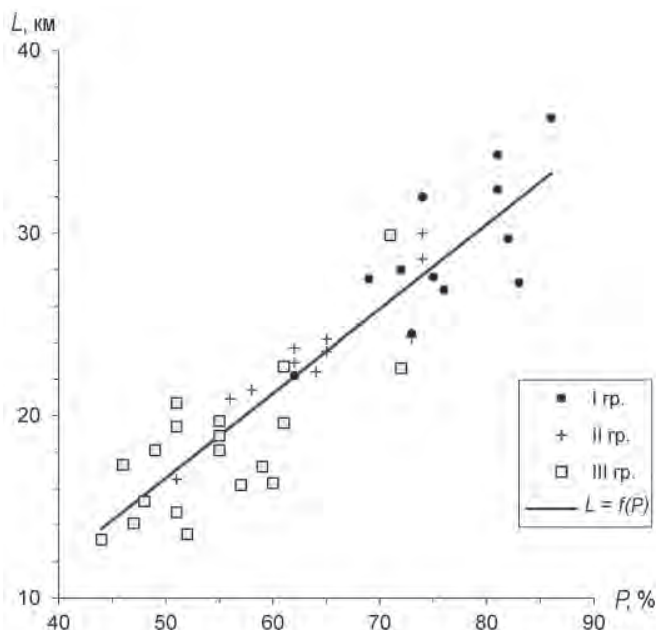


Рис. 4. Связь протяженности попутных разрывов с повторяемостью случаев их присутствия.

Средняя квадратическая погрешность оценки климатической протяженности попутных разрывов на участке по уравнению составляет 2,5 км.

Из данных, представленных в табл. 6, следует, что на участках маршрутов средняя протяженность совокупности попутных разрывов в квадрате является сравнительно низкой. Осредненная по всем участкам ее величина составляет всего 23 км, т.е. меньше половины длины маршрута в пределах квадрата. В то же время повторяемость P равна 64 %.

Таблица 6

Осредненные по участкам маршрутов за все месяцы с января по май значения климатической повторяемости случаев присутствия попутных разрывов P и совокупной их протяженности L

Характеристика	Участок						
	1–2	2–3	1–3	1–4–5	5–3	3–7	6–7
P , %	57	77	64	76	55	53	65
L , км	18	29	25	29	20	15	23

С учетом обоих показателей участки 2–3 и 1–4–5 можно считать наиболее благоприятными для обнаружения и использования попутных разрывов. К самым же неблагоприятным следует отнести участок 3–7, который является общей составной частью маршрутов I, II, III и неизбежно подлежит форсированию при движении по любому из них.

Предпочтительному выбору для плавания вдоль береговых участков способствует и существование здесь Ямальской и Южной Новоземельской заприпайных полыней. Поскольку они значительно шире НСЛ в дрейфующем льду и более стабильны, плавание по ним осуществляется даже при наличии хорошо выраженных попутных разрывов. В работе (Карелин, Карклин, 2012) приведена повторяемость этих полыней. Сравнение ее с повторяемостью случаев присутствия попутных НСЛ показало, что на участках 2–3 и 1–4–5 повторяемость полыней меньше на 16–30 и 8–24 % соответственно. Благодаря этому при закрытии полыней имеется возможность перейти на плавание с использованием попутных нарушений сплошности в дрейфующем льду, которые могут продолжать свое существование.

Перейдем к результатам расчета средней многолетней протяженности попутных разрывов при их обобщении за все месяцы по каждому маршруту в целом (рис. 5). На всех маршрутах за исключением второго отчетливо проявляются ее внутрисезонные колебания. При этом на маршрутах III и IV, как и в ходе изменения повторяемости случаев присутствия попутных разрывов, они совпадают во времени и противоположны колебаниям на маршруте I.

В начале зимы различия протяженности попутных разрывов на маршрутах наиболее значительны. В декабре величина их диапазона составляет 7,5 км. Далее она уменьшается и в феврале становится равной 2,2 км, после чего вновь возрастает до 4,7 км в мае. В целом от начала зимнего периода к маю протяженность попутных разрывов L на всех маршрутах, кроме первого, увеличивается, как это происходит и с повторяемостью случаев их присутствия. Наибольшее изменение величины L за 6 месяцев 8,5 км отмечается на маршруте II, где в декабре она равна 16,7 км, а в мае — 25,2 км.

Приведенные различия протяженности попутных разрывов на маршрутах ошибочно считать несущественными. Напомним, что осредненные значения L относятся

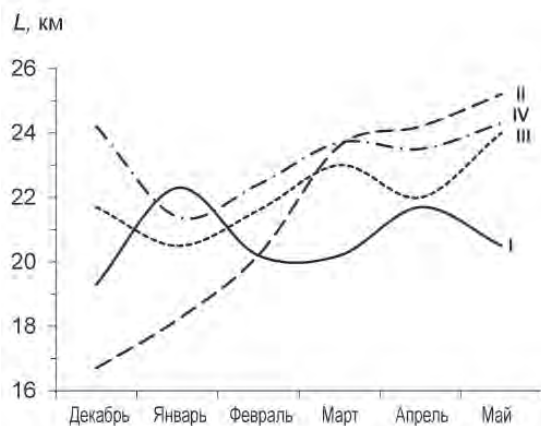


Рис. 5. Внутрисезонный ход изменения климатической средней месячной протяженности попутных разрывов в квадрате на маршрутах плавания.

к одному квадрату, и если при их различии между маршрутами $\Delta L = 2,2$ км составляют 4,4 % от длины маршрута в квадрате, то при $\Delta L = 7,5$ км доходят уже до 15 %. Соответственно, если длина маршрута равна 1000 км, различия в протяженности попутных разрывов составят 44 км и 150 км. Понятно, что при выборе пути следования такие различия целесообразно учитывать. Ниже для каждого месяца с декабря по май указаны маршруты, на которых протяженность попутных разрывов в данном месяце является наибольшей, приведены также и значения самой протяженности L (табл.7).

Таблица 7

Предпочтительные маршруты плавания по протяженности попутных разрывов

Характеристика маршрута	Месяц					
	XII	I	II	III	IV	V
Маршрут	IV	I	IV	IV	II	II
L , км	24,2	22,3	22,4	23,7	23,6	24,2

В марте, как и при анализе повторяемости случаев присутствия попутных разрывов, выделяются 2 маршрута (IV и II), на которых наибольшие значения L практически одинаковы. Из представленных данных видим, что маршруты II и IV фигурируют по 3 раза, маршрут I — один раз, а маршрут III — ни разу. Таким образом, по протяженности попутных разрывов маршруты II и IV являются наиболее благоприятными.

Из сопоставления вариантов плавания с наибольшими значениями P и L следует, что последние одновременно отмечаются на одних и тех же маршрутах в декабре, январе, феврале и апреле, а в марте и мае — на разных. При этом в марте по наибольшей повторяемости выделяются маршруты I и III, а по протяженности — маршруты II и IV. В мае наибольшие значения повторяемостей отмечаются на маршруте IV, а протяженности — на маршруте II. Для этих месяцев выбор варианта плавания с наиболее оптимальным сочетанием повторяемости и протяженности попутных разрывов выполнен с учетом величины одноименных показателей и разности между ними на выделенных маршрутах. Приведем окончательно установленный таким путем для каждого месяца предпочтительный маршрут плавания и соответствующие ему зна-

Предпочтительные маршруты плавания по повторяемости случаев присутствия попутных разрывов и по протяженности попутных разрывов

Характеристика маршрута	Месяц					
	ХII	I	II	III	IV	V
Маршрут	IV	I	IV	IV II	II	II
<i>P</i> , %	64,8	61,1	64,3	62,0 61,6	67,6	72,8
<i>L</i> , км	24,2	22,3	22,4	23,0 23,7	24,2	24,3

чения средней месячной повторяемости случаев присутствия попутных разрывов и их протяженности (табл. 8).

Как видим, при учете обеих характеристик попутных разрывов в число предпочтительных вошли все маршруты. Однако при этом три из них (I, II, III) являются таковыми только по одному месяцу, тогда как маршрут IV присутствует в четырех месяцах. В марте выделяются два маршрута с весьма близкими значениями и *P*, и *L*. В каждом месяце климатическая повторяемость случаев присутствия попутных разрывов в квадрате на предпочтительном маршруте больше 60 %. Аналогичные значения их протяженности менее изменчивы, чем значения повторяемости.

В связи с относительно малой протяженностью попутных разрывов отметим еще раз, что рассчитываемая на основе данных оцифровки снимков ИСЗ малого разрешения совокупная протяженность НСЛ в квадрате относится только к тем из них, пороговая ширина которых $d \geq 500$ м. Суммарная длина фактически существующих разрывов при всем диапазоне их ширины существенно больше определяемой. Так, по данным четырех съемок, выполненных с самолета радаром бокового обзора (разрешающая способность полученных изображений около 40 м) на полигоне в северо-западной части моря Лаптевых в течение третьей декады ноября 1979 г., установлено, что суммарная длина разрывов шириной $d \geq 500$ м составляет только 9 % от их протяженности при ширине $d \geq 40$ м (Лосев и др., 2003). При этом статистические показатели направления НСЛ, полученные при $d \geq 500$ м, с уменьшением задаваемой пороговой ширины до 40 м практически не изменялись. По Карскому морю такие сведения пока отсутствуют. Однако несомненно, что приведенные значения протяженности крупных разрывов попутного направления и здесь составляют лишь незначительную часть от общей их длины, которая в несколько раз больше длины участка маршрута в квадрате.

ВЫВОДЫ

1. Введенные характеристики — повторяемость случаев присутствия попутных разрывов и суммарная их протяженность в расчетном квадрате — являются объективными количественными показателями для климатического описания попутных НСЛ на маршрутах плавания и планирования морских операций в холодное время года.

2. В распределении этих характеристик в пространстве и изменении их во времени проявляется некоторая аналогия, что обусловлено существованием статистической связи между данными показателями.

3. На вдольбереговых участках маршрутов у полуострова Ямал и у архипелага Новая Земля климатические средние месячные значения повторяемости присутствия попутных разрывов и их совокупной протяженности существенно больше, чем на других участках. Это позволяет в случае закрытия существующих здесь заприпайных

полыней перейти на плавание с использованием разрывов в дрейфующем льду, повторяемость которых больше повторяемости полыней. Наиболее неблагоприятным участком по показателям попутных разрывов является участок от острова Белый до Енисейского залива.

4. На маршрутах традиционного плавания через Карское море в Дудинку повторяемость случаев присутствия попутных разрывов и их протяженность от начала зимнего периода к маю в основном увеличивается.

5. С учетом обоих показателей наиболее предпочтительным маршрутом для плавания с использованием попутных разрывов при близких значениях других ледовых характеристик является маршрут от мыса Желания до Енисейского залива. Климатические значения протяженности и повторяемости попутных разрывов, осредненные по квадратам маршрута, наиболее благоприятны здесь на протяжении четырех месяцев.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Адамович Н.М. Ледовые условия западного района советской Арктики в холодное время года и учет их влияния на судоходство: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Л., 1987. 18 с.

Бушуев А.В. Развитие и совершенствование систем и методов ледовых наблюдений // Проблемы Арктики и Антарктики. 1991. Вып. 66. С. 170–183.

Карелин И.Д., Карклин В.П. Припай и заприпайные полыньи арктических морей сибирского шельфа в конце XX – начале XXI века. СПб.: ААНИИ, 2012. 180 с.

Лосев С.М., Горбунов Ю.А., Дымент Л.Н. Оценка характеристик разрывов в ледяном покрове моря Лаптевых по снимкам самолетного радара бокового обзора и снимкам спутников Земли «Метеор» и NOAA // Метеорология и гидрология. 2003. № 2. С. 59–68.

Фролов С.В., Клячкин С.В. Учет влияния ориентации разрывов в ледяном покрове на скорость движения судна во льдах // Труды ААНИИ. 2001. Т. 443. С. 103–111.

Brestkin S.V., Gorbunov Yu.A., Losev S.M. Results of statistical analysis satellite date on discontinuities the ice cover in south-western Kara Sea and their possible use for planning sea operations during the winter-spring period / POAC'95, August 15–18, 1995, Murmansk, Vol. 3. St. Petersburg, 1995. P. 60–68.