

УДК 551.326.12 (261.24)

Методический подход к оценке ледовых условий плавания и оценка тенденций их изменения на примере азиатского побережья Берингова моря

С.И. Мاستрюков, кандидат технических наук
ОАО ГНИНГИ

Изложен зарубежный методический подход к оценке ледовых условий плавания. Получены оценки современных тенденций изменения ледовых условий плавания на примере участка в западной части Берингова моря за период с 1996 по 2011 гг.

Освоение и экологически безопасное развитие Арктики невозможно без соответствующего развития морской транспортной системы. Развитие морской транспортной системы Арктики, эффективное использование морских судов в чрезвычайных ситуациях требуют полноценного и адекватного учета состояния ледяного покрова. Во-первых, ледяной покров особенно чувствителен к наблюдаемым изменениям климата, что приводит к быстрому устареванию сведений о режиме ледяного покрова, опубликованных ранее. Во-вторых, для характеристики ледовых условий мореплавания целесообразно переходить от оценки климатических показателей состояния собственно ледяного покрова к статистическим показателям, характеризующим собственно ледовое плавание.

Обычно для характеристики изменчивости ледового режима ограничиваются оценкой изменения площадей, занятых льдом, то есть оценкой изменения ледовитости того или иного морского бассейна [1]. Реже рассматривают изменчивость других показателей ледового режима, однако оценка изменчивости показателей производится отдельно друг от друга [2].

Под ледовитостью понимают отношение площади морских льдов к общей площади бассейна или его части. Ледовитость является легко определяемой интегральной характеристикой состояния ледяного покрова. Однако для оценки изменения ледовых условий плавания ее анализа недостаточно. Во-первых, ледовитость не позволяет учесть пространственную изменчивость распределения ледяного покрова, а во-вторых, не учитывает ряд

других параметров состояния ледяного покрова, влияющих на движение судов во льдах. Раздельный анализ других показателей ледовых условий так же не позволяет оценить изменение ледовых условий плавания в понятных мореплавателям терминах.

В настоящей работе сделана попытка оценить современные тенденции изменения ледовых условий плавания на примере района азиатского побережья Берингова моря на маршруте от кромки льда до бухты Угольная на входе в Анадырский залив. В качестве показателей ледовых условий плавания принято решение использовать вероятность (возможность) использования судов различных ледовых классов и потери времени за счет влияния ледовых условий на плавание. Анализ вероятности использования судов различных ледовых классов позволяет выбрать оптимальный состав сил для выполнения транспортных операций, а оценка потерь времени является важным показателем для последующей оценки экономической эффективности морских транспортных операций.

Для перехода от оценки состояния ледяного покрова к оценке условий ледового плавания необходимо иметь так называемые \sum функции влияния ледяного покрова на суда ледового плавания.

Нормативная основа для оценки возможности ледового плавания существует. В нашей стране ограничения по ледовому плаванию определяются Российским морским регистром судоходства (далее Регистр) [3] путем присвоения судну определенного ледового класса. Однако требования Регистра нельзя признать полными при оценке влияния льда на

ледовое плавание. Неполнота требований Регистра затрудняет получение полной картины ограничений и, соответственно, затрудняет наглядное представление сведений об ограничениях, накладываемых ледовым режимом.

В этой связи полезно рассмотреть опыт Канады по подготовке карт ледового режима и учету ледовых условий при планировании ледового плавания.

Навигация в канадских водах к северу от 60 градусов северной широты регулируется Правилами Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations (ASPPR) [4]. В рамках реализации этих Правил с 1996 года в Канаде развивается система Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) [5], направленная на повышение безопасности ледового плавания и защиту среды от загрязнений за счет адекватного учета состояния ледяного покрова.

В рамках этой системы оценка влияния ледяного покрова на безопасность ледового плавания производится путем простого расчета некоего интегрального показателя состояния ледяного покрова – ледового критерия IN («Ice Numeral» или «Ice Decision Numeral»). В ходе развития AIRSS собирается эмпирический материал и создается база данных о влиянии ледяного покрова на безопасность судов различных ледовых классов и скорость их движения. Для расчета ледового критерия используется выражение:

$$IN = \sum_i C_i IM_i,$$

где C_i – частная концентрация (сплоченность) льда типа i в десятых долях (0..10),

Таблица 1

Ледовые множители IM AIRSS в зависимости от типа судна и толщины льда

тип льда (код ВМО)	толщина льда, см	Тип судна						
		E	D	C	B	A	CAC4	CAC3
7*или9*	>200	-4	-4	-4	-4	-4	-3	-1
8*	>120	-4	-4	-4	-4	-3	-2	1
6 или 4*	70–120	-3	-3	-3	-2	-1	1	2
1*	50–70	-2	-2	-2	-1	1	2	2
9	30–70	-1	-1	-1	1	2	2	2
7	30–50	-1	-1	-1	1	2	2	2
8	15–30	-1	-1	1	1	2	2	2
3 или 5	10–15	-1	1	1	1	2	2	2
4	<10	1	2	2	2	2	2	2
2	<10	2	2	2	2	2	2	2
1		2	2	2	2	2	2	2
чисто		2	2	2	2	2	2	2

IM_i – ледовый множитель IM (ice multiplier) для заданного типа льда i .

При расчете ледового критерия, если сумма частных сплоченностей менее 10, считается, что дополнение до 10 представляет собой долю, занятую чистой водой. Она так же учитывается при расчете ледового критерия.

Ледовый множитель IM зависит от ледового класса судна (ледокола) и возраста (толщины) льда (табл. 1).

В табл. 2 приведено примерное соответствие между ледовыми классами судов Канады и России.

В наиболее сложных условиях за последние 15 лет возможно использование только ледоколов типа САС4 (Icebreaker7) и САС3 (Icebreaker8). В нормальных (средних) условиях возможно применение и судов класса А (Arc5) за исключением третьей декады апреля. В отдельные месяцы ледового сезона возможно применение судов с меньшей ледопроеходимостью.

Обычно наиболее сложные ледовые условия плавания на выбранном участке (рис. 1) отмечаются во второй половине апреля.

Таблица 2

Примерное соответствие между ледовыми классами судов ASPPR Канады и Морского регистра РФ

Ледовый класс ASPPR Канады	A	B	C	D	E	CAC 4	CAC 3
Ледовый класс Российского морского регистра судоходства 1995 г.	УЛ	Л1	Л2	Л3	Л4	ЛЛ3	ЛЛ2
Ледовый класс Российского морского регистра судоходства 2008 г.	Arc5	Arc4	Ice3	Ice2	Ice1	Icebreaker7	Icebreaker8

Первоначально в AIRSS ледовый множитель определялся только в зависимости от толщины (возраста) льда. Позже появились модифицированные выражения для расчета ледового множителя с учетом других характеристик ледяного покрова [7]. В зависимости от величины ледового критерия IN принимается решение о возможности плавания судна данного класса. Если величина ледового критерия меньше 0 то считается [6], что судно не может выполнять плавание в таких ледовых условиях.

Для оценки изменения ледовых условий плавания в выбранном районе были использованы декадные карты ледовой обстановки в Беринговом море Национального ледового центра (NIC- National Ice Center) США [8] за период с осени 1996 по осень 2011 года. Карты получены с использованием космических аппаратов ENVISAT, DMSP и RADARSAT. Разрешение на картах составляет 50 метров на пиксель. Для района от кромки льда до бухты Угольная (на входе в Анадырский залив) выполнена оценка средней величины ледового критерия IN для каждой декады ледового периода с 1996/1997 по 2010/2011 гг. Результаты расчета IN и оценка возможности использования судов для наиболее сложных, средних и наиболее мягких ледовых условий приведены в табл. 3.

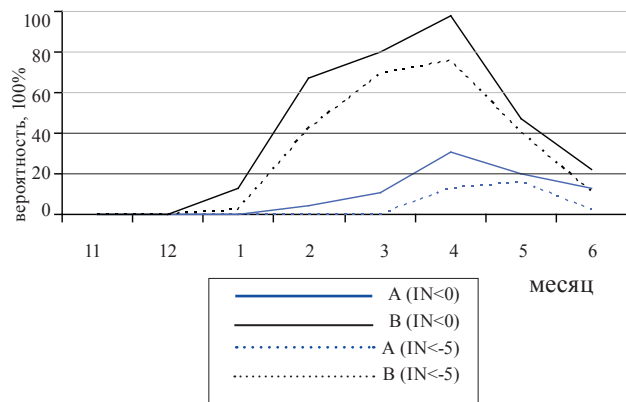


Рис. 1

Месячный ход вероятности ненормативных ($IN<0$) и опасных ($IN<-5$) условий для судов классов А и В за период ноябрь – июнь 1996/1997 – 2010/2011 гг.

В последние 15 лет отмечается тенденция смягчения ледовых условий и снижения вероятности ненормативных ледовых условий для эксплуатации судов ледовых классов А (Arc5) и В (Arc4) (рис. 2).

Как видим, вероятность круглогодичного применения судов типа А за последние 15 лет выросла примерно с 80% до 96%, а судов класса В – с 45% до 65%.

Таким образом, используя изложенный формализованный подход, можно легко и наглядно

Таблица 3

Оценка возможности применения судов ледовых классов на участке от чистой воды до бухты Угольная в западной части Берингова моря за период 1996–2011 гг. на основе использования ледового критерия AIRSS

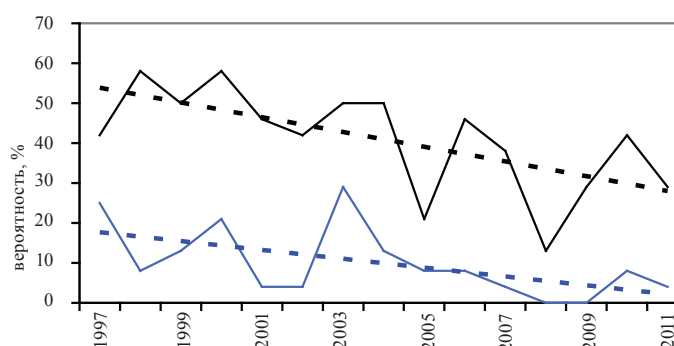
Месяц	Декада	Наиболее суровые условия				Средние условия				Наиболее мягкие условия			
		Сас4 ЛЛЗ	A Arc5	B Arc4	C Ice3	Сас4 ЛЛЗ	A Arc5	B Arc4	C Ice3	Сас4 ЛЛЗ	A Arc5	B Arc4	C Ice3
11	1	20	20	16	16	20	20	20	20	20	20	20	20
11	2	20	20	14	14	20	20	17	17	20	20	20	20
11	3	20	20	11	2	20	20	15	14	20	20	20	20
12	1	20	20	11	7	20	20	14	13	20	20	20	20
12	2	20	20	11	4	20	20	13	10	20	20	17	17
12	3	20	20	11	-1	20	20	13	8	20	20	20	20
1	1	20	20	10	-1	20	20	12	7	20	20	19	19
1	2	20	14	-1	-7	20	19	8	2	20	20	11	9
1	3	19	9	-7	-16	20	15	2	-3	20	20	12	8
2	1	18	7	-9	-18	20	13	-2	-8	20	18	7	5
2	2	12	-4	-14	-22	19	11	-4	-11	20	16	4	0
2	3	12	-4	-13	-21	18	9	-5	-11	20	19	10	9
3	1	12	-4	-13	-22	18	8	-6	-13	20	17	5	2
3	2	15	1	-12	-21	17	6	-8	-16	20	15	1	-4
3	3	13	-3	-17	-23	17	5	-8	-16	20	15	1	-4
4	1	13	-3	-21	-23	17	5	-11	-16	20	17	7	4
4	2	9	-10	-18	-26	16	5	-10	-16	20	14	-1	-7
4	3	2	-13	-19	-28	11	-2	-12	-18	19	10	-1	-4
5	1	2	-13	-20	-28	14	4	-4	-8	20	20	20	20
5	2	2	-11	-16	-22	14	6	-1	-4	20	20	20	20
5	3	2	-11	-13	-20	16	10	5	3	20	20	20	20
6	1	5	-5	-20	-20	16	11	7	6	20	20	20	20
6	2	8	-6	-15	-15	17	12	9	7	20	20	20	20
6	3	11	-3	-3	-10	18	16	16	15	20	20	20	20

В табл. 3 значения ледового критерия условно разбиты на 5 групп и выделены оттенками серого цвета:

IN>5	0<IN<=5	-5<IN<0	-10<IN<-5	IN<=-10
простые	нормальные	ненормативные	опасные	очень опасные



Рис. 2
Тенденции изменения среднесезонной (ноябрь–июнь) вероятности ненормативных (IN<0) ледовых условий для судов ледовых классов А и В.



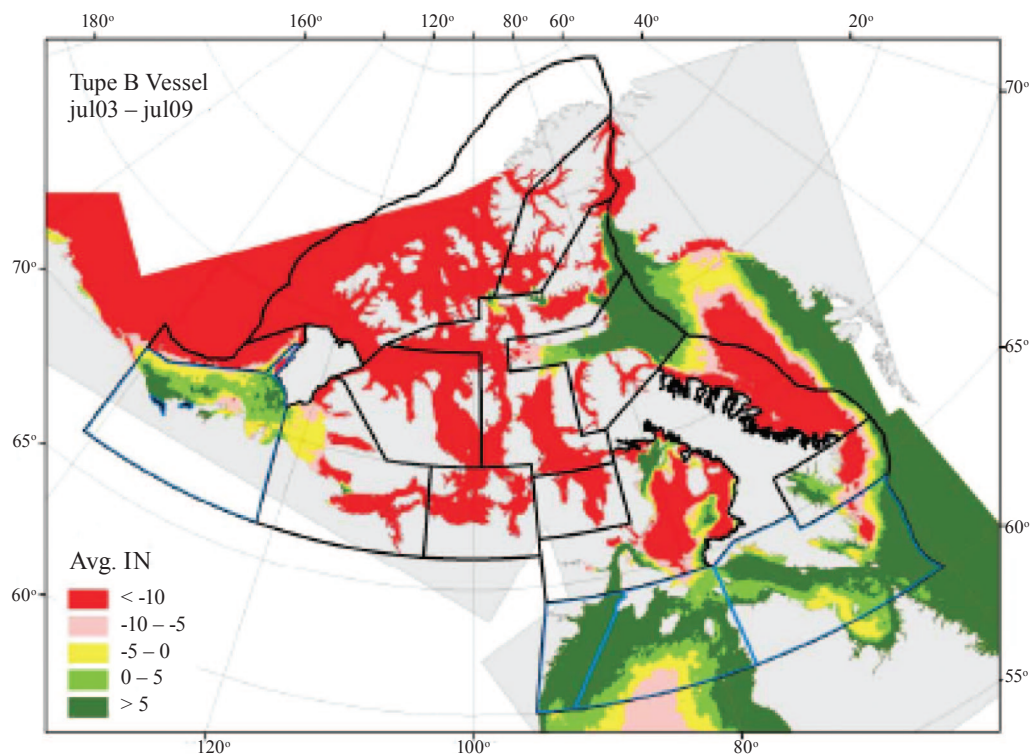


Рис. 3

Пример представления климатических сведений о ледовых условиях плавания системой AIRSS [9]

оценить возможность использования судов различных ледовых классов. Так же наглядно по ледовому критерию IN можно картировать степень сложности ледовых условий по маршрутам и районам плавания. В Канаде [9] такого рода карты разрабатываются как при анализе оперативной обстановки, так и для отображения сведений об условиях плавания климатического характера (рис.3).

Для оценки экономической эффективности транспортных операций недостаточно выбрать тип ледоколов и/или судов ледового плавания. Необходимо оценить затраты времени на ледовое плавание. А критерием изменчивости ледовых условий в этом случае может быть изменение потерь времени на движение во льдах. Для этого необходимо знать длину пути судна во льдах и средневзвешенную скорость на маршруте ледового плавания.

Известно, что на сопротивление движению судна во льдах и соответственно на его безопасность и скорость помимо характеристик судна оказывает влияние ряд показателей состояния ледяного покрова, среди которых следует выделить вид льда (сплошной, крупнобитый, мелкобитый), сплоченность, толщину, торосистость, заснеженность, разрушенность, облипание, сжатия льда. Движение судна во льдах происходит непрерывным ходом

или набегам. В связи с этим и ввиду многообразия ледовых условий и типов судов наши и зарубежные специалисты признают невозможность нахождения единой аналитической зависимости для расчета ледового сопротивления и соответственно скорости движения ледокола (судна) во льдах [10] от всех факторов состояния ледяного покрова. Для оценки ледовой ходкости – способности судна двигаться с определенной скоростью обычно используют результаты физического моделирования движения судов в бассейнах.

В нашей стране и за рубежом имеются оценки влияния льда на безопасную скорость ледового плавания. Более того, относительно недавно принято решение [11], в соответствии с которым в ледовом паспорте судна должны быть диаграммы для определения безопасных допустимых скоростей движения во льдах. По некоторым сообщениям для ряда отечественных и зарубежных судов ледовые паспорта уже разработаны на основе физического моделирования.

В Канаде в рамках развиваемой системы AIRSS выполняется программа по сбору и анализу эмпирического материала о влиянии ледовых условий на скорость ледового плавания. Некоторые результаты этих исследований использованы в

настоящей работе. В качестве функции влияния ледовых условий на безопасную скорость судна V_s использовано выражение для ледоколов типа САС4 (Icebreaker7), полученное в работе [12]:

$$V_s = 0.371 \cdot IN + 3.573, IN > 0$$

А для оценки безопасной скорости судна класса А (Arc5) использовано выражение полученное в работе [13]:

$$V_s = 0.0022IN^3 - 0.0397IN^2 + 0.2834IN + 3.5729, IN > 0$$

Последнее выражение несколько модифицировано – при $IN < 0$ безопасная скорость судна класса А принята равной 0.5 узлам.

Оба судна имеют скорость на чистой воде $V = 11$ узлов.

Расстояние R от кромки льда до бухты Угольная, как и характеристики ледяного покрова, использованные для расчета ледового критерия IN и соответственно безопасной скорости, определялись по декадным картам ледовой обстановки NIC США за

1996/1997–2010/2011 гг. Расчет потерь времени T_{loss} выполнен для трафика – 1 переход в декаду от кромки льда до бухты Угольная. Потери времени за 1 переход за счет ледовых условий рассчитаны по формуле:

$$T_{loss} = (R/V_s - R/11).$$

На *рис. 4* приведен график среднемесячных потерь времени за счет ледовых условий для судов классов САС4 (Icebreaker7) и А (Arc5).

Многолетний ход суммарных потерь времени для трафика 1 переход в одну сторону 1 раз в декаду до бухты Угольная от кромки льда приведен на *рис. 5*.

Суммарные потери времени на ледовое плавание при использовании судов типа САС4 за последние 15 лет в среднем снизились с 60 до 4-х часов, а судов типа А – с 600 до 150 часов. Наиболее сложные ледовые условия плавания на выбранном маршруте по критерию потери времени отмечались зимой 1999/2000 гг., а наиболее легкие – зимой 2010/2011 гг.

Важное значение для восприятия картосхем ледовых условий имеет форма представления сведений об этих условиях. В Арктике в зимний период преобладает сплошной лед, зоны занятые им в соответствии с международной символикой [14] обычно закрашиваются в красный цвет и по цвету нельзя оценить сложность ледовых условий плавания. При построении картосхем в качестве показателя сложности плавания можно использовать рассмотренный выше ледовый критерий IN . Так же представляется наглядным использование показателя IV , пропорционального

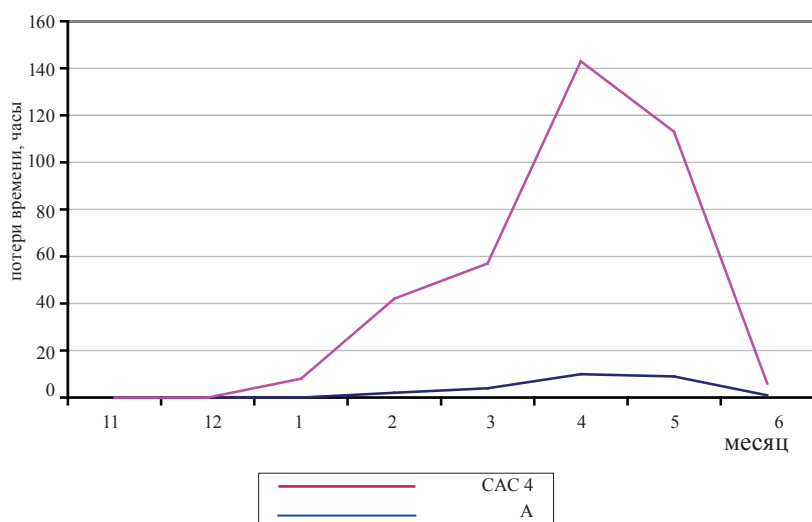


Рис. 4 Средние месячные потери времени при трафике три рейса в месяц от кромки льда до б. Угольная при самостоятельном плавании судов классов САС4 и А.

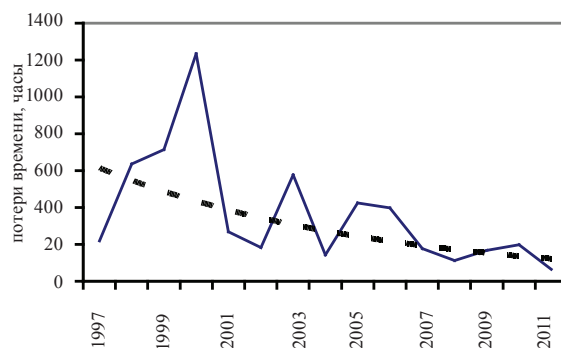
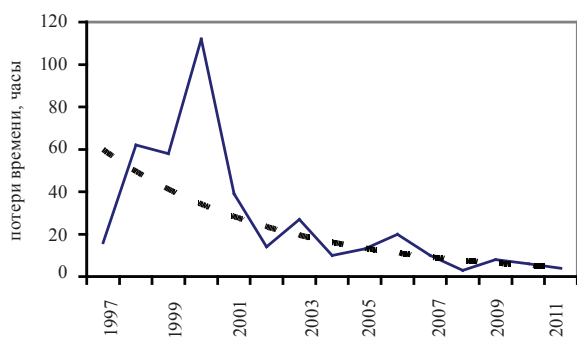
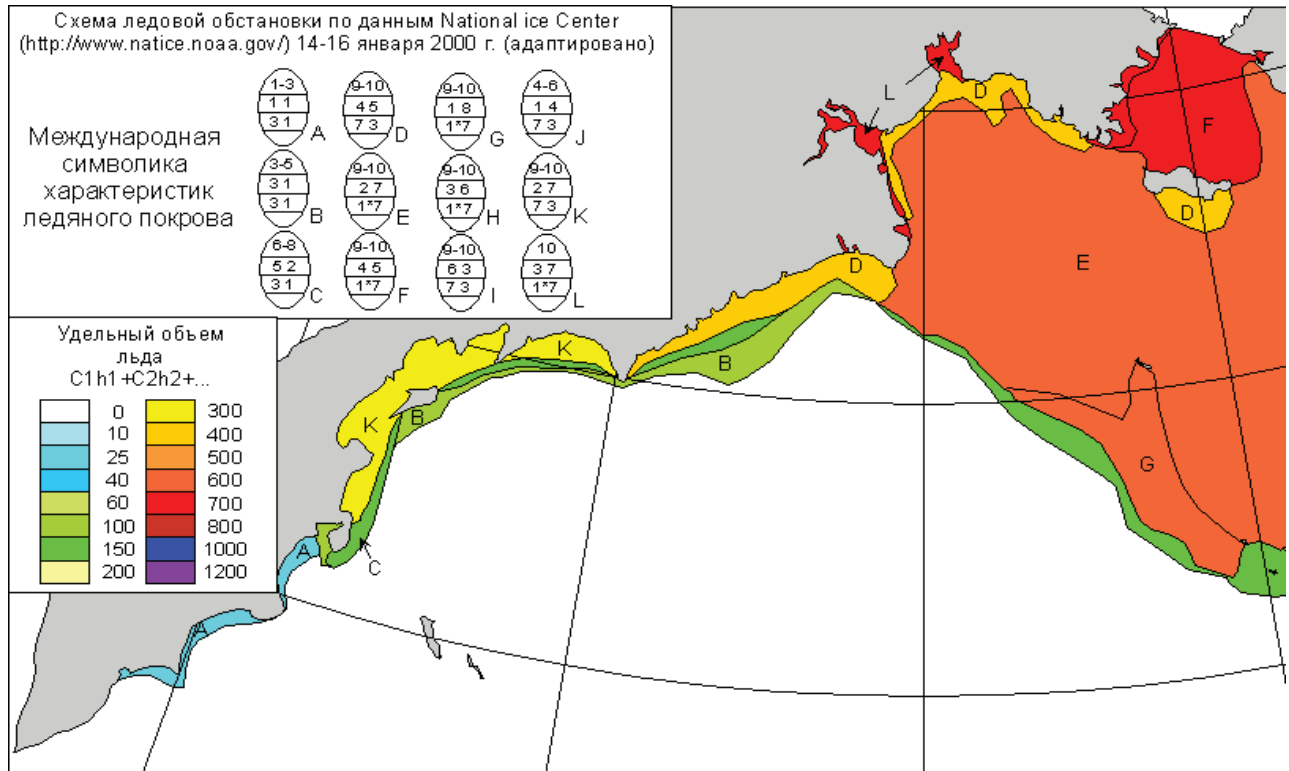
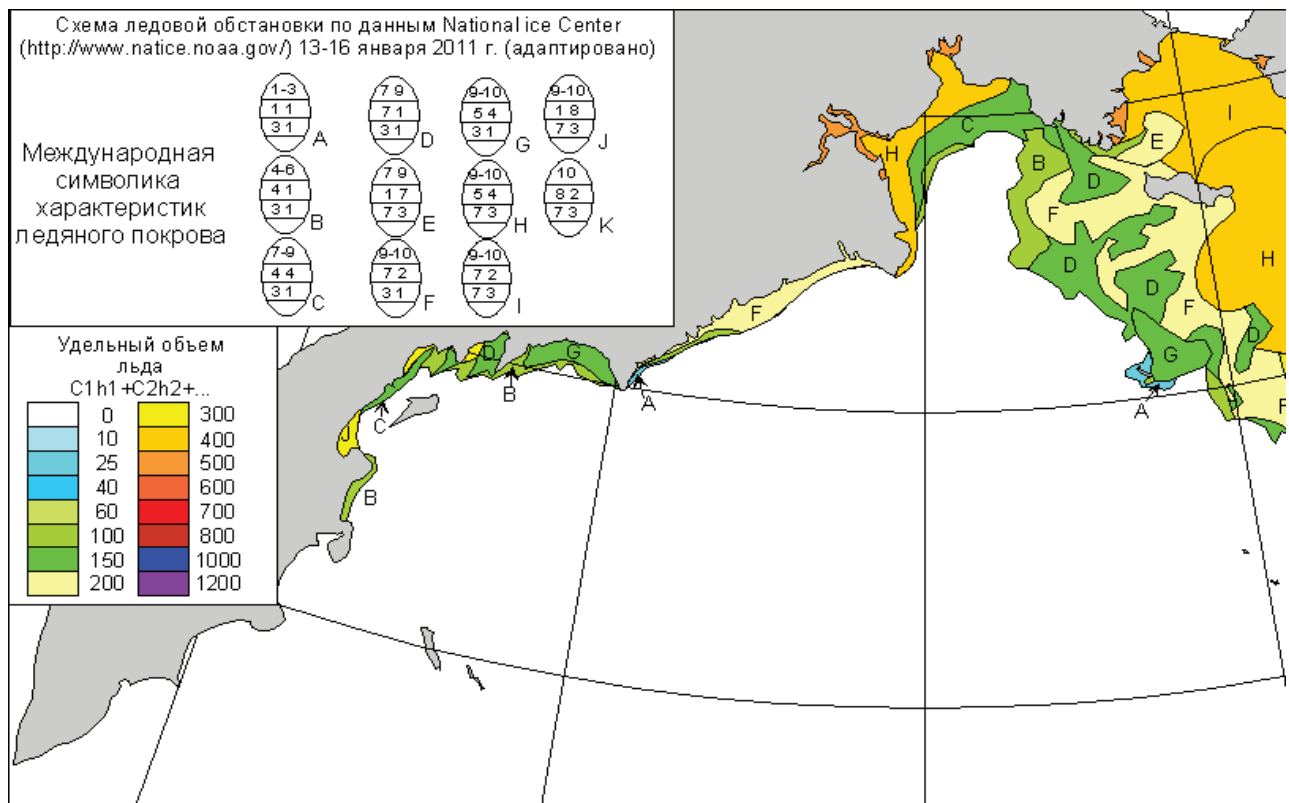


Рис. 5 Суммарные сезонные (ноябрь–июнь) потери времени при трафике 3 перехода в месяц от кромки льда до б. Угольная при самостоятельном плавании судов классов САС4 (а) и А(б).



а)



б)

Рис. 6 Картограммы ледовой обстановки для второй декады января в наиболее суровый сезон 1999/2000гг. (а) и наиболее мягкий сезон 2010/2011гг. (б)

удельному объему льда (на единицу площади) и рассчитываемого по формуле:

$$IV = \sum_i C_i h_i$$

Расчет этой характеристики выполнен для однородных по сплоченности и толщине льда участков акватории Берингова моря. Для иллюстрации различий в ледовых условиях плавания на *рис. 6* приведены картосхемы распределения удельного объема льда в январе 2000г. и январе 2011г. Дополнительно на *рис. 6* дана характеристика состояния ледяного покрова по однородным районам с использованием международной символики для морских ледовых карт [14].

Таким образом, при наличии полного набора ограничений на эксплуатацию судов ледового плавания и формализованных функций влияния ледяного покрова на безопасную скорость ледового плавания, формы представления ледовой информации, в том числе климатического характера, могут быть приведены в соответствие с потребностями потребителей, что позволит повысить эффективность использования ледовой информации при обеспечении безопасности ледового мореплавания. В этом отношении заслуживает серьезного внимания опыт развития системы Arctic Ice Regime Shipping System Канады. Особенно важным представляется работа по обобщению эмпирического материала о влиянии ледовых условий на безопасную скорость ледового плавания.

Использование принятого в Канаде методического подхода позволило оценить существующие тенденции изменения ледовых условий плавания в терминах, понятных потребителям ледовой информации. Например, выявлено, что за последние 15 лет вероятность круглосезонного (ноябрь-июнь) самостоятельного плавания судов типа А (Arc5) на выбранном участке выросла примерно с 80% до 96%, а суммарные потери времени на ледовое плавание при трафике 1 рейс в декаду за счет ледовых условий при использовании судов типа САС4 (Icebreaker7) за последние 15 лет в среднем снизились с 60 до 4-х часов, а судов типа А (Arc5) – с 600 до 150 часов.

Литература:

1. Якунин Л.П. Атлас ледовитости дальневосточных морей СССР. Владивосток: ПОП ПУГКС, 1987. С. 80
2. Плотников В.В. и др. Режим и изменчивость состояния ледяного покрова Берингова моря. Электронное информационно-справочное пособие (ЭИСП) (1963-2004 гг.), available: <http://www.pacificinfo.ru/eisp/beringsea/docs/text.html>.
3. Правила классификации и постройки морских судов. В надзаг. Российский морской регистр судоходства. СПб, 2007, т.1, С.502.
4. Canadian Gazette, 1996. Regulations Amending the Arctic Shipping Pollution Prevention Regulations. P 1729, Ottawa, Canada.
5. AIRSS 1996. Arctic Ice Regime Shipping System (AIRSS) Standards, Transport Canada, June 1996, TP 12259E, 46 p, Ottawa. Ont., Canada.
6. Timco, G.W., Kubat I. Canadian Ice Regime System: Improvements Using an Interaction Approach, Proceedings of the 16th International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions POAC'01 August 12-17, 2001, Ottawa, Ontario, Canada, available <http://nparc.cisti-icist.nrc-cnrc.gc.ca/>.
7. Howell S.E.L., Yackel J.J. A vessel transit assessment of sea ice variability in the Western Arctic, 1969–2002: implications for ship navigation. Can. J. Remote Sensing, 2004, Vol. 30, No. 2, PP. 205–215.
8. Портал NIC США: <http://www.natice.noaa.gov/>.
9. Timco, G.W. Collins A, Kubat, I. Scientific Analysis of the ASPPR Hybrid System for Type B Vessels. Canadian Hydraulic Center, 2009, Technical Report CHC-TR-063, P32.
10. Капителян В.И. и др. Ледоколы. Л.:Судостроение, 1972, С. 286.
11. Распоряжение Минтранса РФ “О мерах по обеспечению безопасности плавания транспортных судов в замерзающие порты Российской Федерации» от 17 февраля 2003 г., № ВР Р.30.
12. Somanathan S., Flynn P.C., Szymanski J. The Northwest Passage: A Simulation. Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. p.1577-1585. available <http://www.computer.org/portal/web/csdl/doi/10.1109>.
13. Mc Callum, J., ENFOTEC Technical services Inc, Ottawa and Geoinfo Solution Ltd, Sidney, BC. 1996. Safe Speed in ice – An analysis of Transit Speed and Ice decision Numerals. Report prepared for Transport Canada. Available via www.geinfosolutions.com/projects/Safeice.pdf.
14. Международная символика для морских ледовых карт и номенклатура морских льдов. Л.: Гидрометеиздат, 1984. С. 56.